IL CONTROLLO AMBIENTALE DELLA COSTRUZIONE DEL MOSE

10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia
2004 - 2015

Editors
P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi

IL CONTROLLO AMBIENTALE DELLA COSTRUZIONE DEL MOSE

10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia

2004-2015

Editors
P. Campostrini, C. Dabalà - CORILA
P. Del Negro - OGS
L. Tosi - CNR Istituto di Scienze Marine

Questo volume riassume i principali risultati dei “Monitoraggi degli effetti dei cantieri prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari” condotti a partire dal 2004 nell’ambito degli Studi B.6.72 B/1 - B/11 del Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (già Magistrato alle Acque di Venezia), affidati al Consorzio Venezia Nuova e sviluppati da CORILA.

Alta sorveglianza

Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (già Magistrato alle Acque)
Ufficio Salvaguardia di Venezia
Giampietro Mayerle, Fabio Riva,
Valerio Volpe, Maria Adelaide Zito

Coordinamento generale

Consorzio Venezia Nuova
Fabio Beraldin, Giovanni Cecconi, Claudia Cerasuolo,
Massimo Gambillara

A cura di

CORILA
Editors: Pierpaolo Campostrini, Caterina Dabalà,
Paola Del Negro, Luigi Tosi

Con i contributi specialistici di

CORILA
Pierpaolo Campostrini, Caterina Dabalà, Chiara Dall’Angelo

Dipartimento di Biologia, sezione di Etologia, Università di Pisa
Natale Emilio Baldaccini

Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino
Alessandro Casasso, Antonio Di Molfetta, Rajandrea Sethi

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale, Università degli Studi di Padova (DICEA-UNIPD)
Giampaolo Di Silvio

Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara
Renzo Cremonini, Patrizio Fausti, Maria Carmen Guerra, Andrea Santoni, Giuliano Scalpelli Quiqueto, Nicolò Zuccherini Martello

Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica, Università Ca’ Foscari di Venezia (DAIS-UNIVE)
Marco Anelli Monti, Francesco Cavraro, Francesca Coccon, Piero Franzoi, Vyron Georgalas, Elisa Morabito, Fabio Pranovi, Simone Redolfi Bristol, Giovanni Sburlino, Patrizia Torricelli, Matteo Zucchetta

Istituto di Scienze dell’Atmosfera e del Clima, Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISAC-CNR)
Franco Belosi, Daniela Cesari, Daniele Contini

Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISMAR-CNR)
Giuliano Lorenzetti, Giorgia Manfè, Marco Sigovini, Davide Tagliapietra, Luca Zaggia

Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali, Consiglio Nazionale delle Ricerche (IDPA-CNR)
Andrea Gambaro

Museo di Storia Naturale di Venezia
Luca Mizzan, Marco Uliana, Cecilia Vianello

SELC soc. coop.
Isabelle Cavalli, Emiliano Checchin, Daniele Curiel, Daniele Mion, Chiara Miotti, Andrea Rismondo, Francesco Scarton

Università IUAV di Venezia
Marco Della Puppa, Marco Mazzarino

Francesco Barbieri, Elena Elvini, Leonardo Ghirelli, Lorenzo Zanella

Consorzio per il Coordinamento delle Ricerche inerenti al sistema Lagunare di Venezia

S. Marco 2847, Palazzo Franchetti
30124 Venezia

Tel. +39-041.2402511 - pec: corila@pec.it

direzione@corila.it

www.corila.it

Stampa Nuova Jolly, Padova 2017

Tutti i rapporti relativi ai monitoraggi dei cantieri del MOSE sono a disposizione al sito web www.monitoraggio.corila.it.

La presente relazione scientifica è parte delle attività finanziate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche del Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (PROVV.OO.PP.), già Magistrato alle Acque di Venezia (MAG.ACQUE), tramite il concessionario Consorzio Venezia Nuova (CVN).

INDICE

PRESENTAZIONE

Roberto Linetti
Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche
Veneto – Trentino Alto Adige – Friuli Venezia Giulia

Venezia e la sua laguna disporranno a breve del sistema di difesa dalle acque alte per la salvaguardia e la conservazione del patrimonio artistico, architettonico, ambientale e conseguentemente delle attività socio – economiche che permettono a questa città, meravigliosa ed unica al mondo, di continuare ad essere viva.
Il Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche di Venezia (già Magistrato alle Acque), contestualmente all'apertura dei cantieri delle opere di regolazione delle maree alle bocche di porto, attraverso il concessionario Consorzio Venezia Nuova, si è impegnato sin dal 2004 ad avviare un programma di monitoraggio degli effetti diretti ed indiretti dei cantieri sulle matrici ambientali e sull'economia dei settori potenzialmente impattati dall'esecuzione delle opere, che sono tutt'ora in corso, e ne ha garantito la continuità in tutti questi anni.
Numerosi sono i parametri che sono stati monitorati, che comprendono sia quelli per i quali esiste una relazione sufficientemente chiara di causa-effetto (tra cui ad esempio la torbidità delle acque, le emissioni in aria, il rumore, i livelli di falda, la portualità) sia quelli relativi agli ecosistemi di pregio per i quali gli effetti possono manifestarsi successivamente alla realizzazione delle attività di cantiere o anche per cause differenti e non connesse alle attività di cantiere.
Per questo importante compito, il Provveditorato Interregionale ha previsto il coinvolgimento del CORILA, Consorzio per il coordinamento delle Ricerche inerenti al sistema lagunare di Venezia, ente vigilato dal Ministero dell'Università e della Ricerca, a cui fanno capo le Università Ca' Foscari di Venezia, l'Università IUAV, l'Università di Padova, il CNR e l'OGS, che ha raggruppato molti tecnici e ricercatori esperti delle matrici interessate.
Questo volume nasce dall'esigenza di far conoscere ad un pubblico sempre più vasto i principali risultati dei rilievi e delle indagini eseguite da oltre 10 anni nell'ambito dei "Monitoraggi degli effetti dei cantieri prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", al fine di condividere e comunicare lo stato e l'andamento delle comunità biologiche nel complesso contesto del sistema lagunare, dove non sempre è facile definire la relazione tra le cause e gli effetti.
Questi risultati costituiscono un importante patrimonio di conoscenze, non solo per la funzione che hanno svolto di controllo dell'andamento dei diversi parametri durante la fase di realizzazione delle opere alle bocche:essi rappresentano anche un fondamentale riferimento per Enti ed Amministrazioni che avranno il compito in futuro di gestire e monitorare il territorio lagunare, una volta che saranno in funzione le nuove opere di difesa di Venezia dalle acque alte, valutandone gli effetti.

PREFAZIONE

Pierpaolo Campostrini

Nel 2016 si contano cinquant'anni dalla disastrosa alluvione del 4 novembre 1966 che pose a rischio fisico la sopravvivenza della città di Venezia. Fu un evento eccezionale, mai verificatosi fino ad allora, che causò un vero e proprio "shock" in tutto il mondo, mettendo in luce le speciali fragilità della città lagunare: negli anni successivi fu chiaro che strumenti ordinari non sarebbero stati adeguati a fronteggiare il problema. La moderna salvaguardia di Venezia ha quindi il suo fondamento normativo nella Legge 16 aprile 1973, n. 171, il cui incipit contiene una dichiarazione che vale la pena ricordare per esteso. (Art.1) "La salvaguardia di Venezia e della sua laguna è dichiarata problema di preminente interesse nazionale. La Repubblica garantisce la salvaguardia dell'ambiente paesistico, storico, archeologico ed artistico della città di Venezia e della sua laguna, ne tutela l'equilibrio idraulico, ne preserva l'ambiente dall'inquinamento atmosferico e delle acque e ne assicura la vitalità socioeconomica nel quadro dello sviluppo generale e dell'assetto territoriale della Regione. Al perseguimento delle predette finalità concorrono, ciascuno nell'ambito delle proprie competenze, lo Stato, la Regione e gli Enti locali". Tutti gli strumenti anche legislativi che seguirono non posero in discussione questi fondamentali principi, che ancora oggi suonano attuali e ampiamente condivisi.
La stessa legge individuava come primo compito dello Stato (Art.7) la "regolazione dei livelli marini in laguna, finalizzata a porre gli insediamenti urbani al riparo dalle acque alte". Peraltro, la tutela ambientale della laguna è pure obbiettivo strategico, indissolubilmente legato a quello della tutela dei centri abitati. Il connubio (obbligato, ma non banale) tra queste due "tutele" è l'origine principale e quasi il *leit-motiv* di tante accese discussioni che si sono susseguite, travalicando spesso dal piano tecnico a quello politico, prospettando soluzioni con impostazioni del tutto diverse fra loro.
Pertanto, anche dopo essere addivenuti ad una scelta tecnica di principio sulla soluzione da intraprendere (sostanzialmente contenuta nel c.d. "Progettone" del 1983 e nel progetto di massima del 1992 riguardo le barriere mobili alle bocche di porto), l'iter attuativo del compito primario dello Stato in merito alla regolazione dei livelli marini in laguna è stato oggetto di numerose e complicate vicissitudini preliminari, sia di tipo tecnico che amministrativo, e pure nella fase realizzativa del MOSE*, iniziata nel 2003, non è rimasto esente da problemi.
Questo volume intende offrire un contributo tecnico-scientifico, specifico e completo, rispetto l'effettivo rapporto esistito tra la realizzazione delle opere di regolazione della marea e l'ambiente circostante.

* La parola MOSE è nata come acronimo di MOdulo Sperimentale Elettromeccanico, poi è venuta ad indicare il sistema di difesa nel suo complesso; un ulteriore allargamento all'insieme delle opere connesse è indicato spesso come Sistema MOSE.

Tale relazione “cantieri-ambiente”, nella fase che ha preceduto l’avvio dei lavori ed anche dopo il loro avvio, fu considerata uno dei principali motivi di preoccupazione da parte di molti, tanto da costituire uno dei punti principali evidenziati nei diversi ricorsi avverso l’opera, presentati da associazioni varie e dal Comune di Venezia negli anni (tutti rigettati dal TAR e dal Consiglio di Stato) e nella procedura d’infrazione aperta a fine 2005 dalla Commissione Europea contro lo Stato Italiano, poi chiusasi con l’archiviazione dell’aprile del 2009.
CORILA conduce dal 2004 il Piano di Monitoraggio degli effetti dei cantieri del MOSE sulle matrici ambientali e sull’economia dei settori che potevano risultare impattati dall’esecuzione delle opere. Tale Piano di Monitoraggio è stato eseguito inizialmente per conto del Magistrato alle Acque di Venezia (MAV) e dopo la sua abolizione nel 2014, per conto del Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia, sulla base di Disciplinari approvati dal Comitato Tecnico di Magistratura del MAV (dal 2014 Comitato Tecnico Amministrativo del Provveditorato) e per effetto di contratti con il Concessionario di Stato Consorzio Venezia Nuova (CVN).
Il Piano di Monitoraggio degli effetti prodotti dai cantieri alle bocche di porto ha avuto la validazione da parte del Ministero dell’Ambiente attraverso ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) dal 2010 al 2013. Dal 2014 è subentrata ad ISPRA la Regione del Veneto che svolge la stessa funzione attraverso la prorpia Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV).
L’esistenza e la conduzione da parte di un ente indipendente di un Piano di Monitoraggio articolato, nonché i primi risultati da esso provenienti, furono tra le motivazioni che portarono il Governo nazionale alla decisione di continuare la realizzazione del progetto del MOSE già in essere (Relazione del Ministro Antonio Di Pietro, riunione del Comitatone 22/11/2006) e la Commissione Europea ad archiviare la procedura d’infrazione. A più riprese, diversi atti amministrativi ne hanno sottolineato l’importanza.
Invero, la costruzione del MOSE richiede l’esecuzione di grandi lavori di ingegneria in zone del litorale veneziano preziose e fragili dal punto di vista ambientale: in queste aree sono stati designati Siti di Importanza Comunitaria (ai sensi della direttiva 92/43/CEE) e ZPS (Direttiva 79/409/CEE) e come tali facenti parte della rete “Natura 2000”. Inoltre la laguna di Venezia, identificata come IBA (Important Bird Area) 064 “Laguna Veneta”, rientra tra le aree di interesse mondiale per la protezione dell’avifauna.
Nell’area prossima alle bocche di porto sono inoltre presenti habitat di intersesse alieutico (sia come ripopolamento che come cattura), nonché di sfruttamento turistico (con diverse densità). Infine, attraverso le bocche di porto passano le navi che, attraverso il Porto di Venezia ed il Porto di Chioggia, alimentano l’economia della regione e di una vasta area europea.
Quanto sopra brevemente tratteggiato sottolinea come l’elaborazione del Piano di Monitoraggio e la sua conduzione da parte di CORILA rappresentò e rappresenta l’assunzione da parte della comunità scientifica di una grande responsabilità di tipo civico, al fine del concreto realizzarsi di un intento stabilito dal Legislatore nazionale e largamente condiviso in tutto il mondo: permettere di salvare Venezia assieme all’ambiente naturale che contiene questa millenaria ed unica città. Tale consapevole intendimento si accompagna alle sfide scientifiche che saranno spiegate nei prossimi capitoli.
Infatti, di sfide scientifiche si tratta e non di semplice applicazione della miglior tecnica disponibile. Riteniamo del tutto superati i tempi nei quali una parte degli scienziati guardava con sufficienza alle attività di monitoraggio, quasi fossero semplice ripetizioni di cose già note. In queste pagine, se ce ne fosse ancora residuo bisogno, si dimostra come l’attività di acquisizione dati in un ambiente così complesso richieda tutto il rigore e tutta la “visione” richiesta dall’acquisizione dati provenienti da un esperimento scienti-

fico. La misura è parte spesso essenziale del processo di comprensione dei fenomeni. Misurazioni corrette non sempre sono sufficienti ad indirizzare scelte corrette, ma l'assenza di misurazioni o, peggio, misurazioni sbagliate portano a scelte certamente errate.
Infine, i nostri ricercatori hanno forse avuto anche il ruolo della sentinella, la cui semplice presenza opera una dissuasione da comportamenti illegittimi, ma soprattutto hanno dimostrato come la conoscenza sia sempre la migliore prevenzione dei disastri ambientali.
Per la complessa fase di gestione del sistema di regolazione delle maree, ormai alle porte, le conoscenze acquisite rimangono preziose e la capacità del sistema scientifico ad essere utile definitivamente dimostrata.

Una visione olistica, multidisciplinare e integrata per il Piano di monitoraggio della costruzione del MOSE

A holistic, multidisciplinary and integrated vision for the monitoring plan of the MOSE's construction

Pierpaolo Campostrini, Caterina Dabalà

Introduzione

La laguna di Venezia: caratteristiche fisiografiche ed ecologiche

La laguna di Venezia ha una superficie di circa 550 km² di cui soltanto l'8% è occupata da terra emersa: la città di Venezia, una cinquantina di isole minori, i litorali, le valli da pesca arginate e le casse di colmata artificiali. Essendo un sistema di transizione tra terra e mare, è influenzata dalla marea che si espande rapidamente attraverso i canali; essi occupano circa l'11% della superficie, mentre il restante 80% è occupato da velme, piane fangose non vegetate che emergono solo in occasione di eccezionali basse maree, e aree barenicole vegetate, occasionalmente sommerse dall'alta marea. La profondità media della laguna centrale e meridionale è di circa -1,8 m, mentre quella della laguna nord è circa -1,3 m (Guerzoni e Tagliapietra, 2006).
Divisa dall'Adriatico da un lungo cordone litoraneo, la laguna mantiene la connettività col mare attraverso le tre bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia (figura 1).
La connessione con il bacino scolante, che ha una superficie di circa 1.850 km² e ospita insediamenti agricoli, industriali e urbani (Regione del Veneto, 2000), è garantita da 9 principali immissari che convogliano in laguna acque piovane e fluviali. L'attuale estensione del bacino scolante è molto più ridotta di quella che 6.000 anni fa (Gatto e Carbognin, 1981) permise la formazione della laguna grazie al trasporto di detriti dai monti; infatti, dal XV secolo in poi, ed in particolare dal XVI secolo, la Repubblica di Venezia volle deviare le foci di importanti fiumi alpini, portandole dalla laguna al mare.
Attualmente il volume complessivo di acqua dolce trasportata dai fiumi è valutato intorno ai 1.000.000 m³/anno (Regione del Veneto, 2000) e, nonostante il trasporto solido sia limitato, l'apporto di sostanze nutritive (azoto, fosforo) ed inquinanti (organici ed inorganici) è oggetto di una particolare attenzione, anche normativa (DM 23/04/1998, DM 16/12/1998, DM 09/02/1999, DM 30/09/1999).
La laguna di Venezia è un ambiente microtidale, con un'escursione massima di marea di circa 1 m. Lo scambio mare-laguna con ritmo bidiurno rappresenta la forzante principale dell'ecosistema lagunare. La struttura morfologica è articolata (Amos *et al.*, 2010): la rete di canali convoglia la corrente di marea con velocità decrescenti dalle zone prossime alle bocche, dove le correnti sono più intense, alle aree più interne che sono caratterizzate da un modesto idrodinamismo e da un ridotto ricambio idrico. I tempi di residenza, infatti, raggiungono i 20 giorni nelle parti più interne, prossime alla gronda.

1. La laguna di Venezia. Sono evidenziate le aree protette secondo le normative comunitarie ed internazionali. Dati mappa ©2016 Google.

L'idrodinamismo determina forti gradienti di salinità, con valori decrescenti dal mare verso l'interno e che influenzano fortemente ogni ecotono. La morfologia complessa definisce un insieme composito di habitat, rilevanti per i servizi ecosistemici offerti e caratterizzati da specie endemiche, alcune di elevato pregio.
L'antropizzazione del sistema rappresenta la più importante fonte di disturbo ecologico: diversi tipi di scarichi civile, industriale ed agricolo, circolazione di numerose imbarcazione a motore, pesca meccanizzata delle vongole, ecc. Il sistema lagunare è infatti caratterizzato da una moltitudine di attività umane: piccoli e medi centri abitati sono distribuiti lungo il perimetro della laguna, il litorale e alcune isole. Il bacino scolante è prevalentemente a uso agricolo e industriale e, in particolare, a Porto Marghera sono presenti ancora alcune industrie chimiche. Il "centro storico" di Venezia registra oltre 10 milioni di presenze turistiche ogni anno, come "notti spese" nel 2015 (Comune di Venezia, 2016), cui si aggiunge un numero ingente di turisti "visitatori" (ovvero che non pernottano in città), la cui stima è incerta, comunque superiore ad 12 milioni/anno; il porto veneziano è uno dei porti più importanti in Italia (25 milioni di tonnellate di merci all'anno e 1,6 milioni di passeggeri delle navi da crociera nel 2015) (Comune di Venezia, 2016), così come l'aeroporto, che, con l'aeroporto di Treviso, rappresenta il terzo Sistema aeroportuale italiano (Rapporto Censis, 2014). Sull'area lagunare pesano, inoltre,

attività legate a pesca tradizionale, trasporto di persone e merci, attività ricreative.
A causa di queste pressioni, cui si aggiungono quelle dovute ai cambiamenti del clima e della perdita altimetrica rispetto al livello del mare (Relative Sea Level Rise) (Carbognin e Tosi, 2002; Carbognin *et al.*, 2010), la laguna veneziana, nonostante la sua capacità di resilienza, è a rischio di calo sostanziale degli habitat caratteristici, cui consegue necessariamente la perdita di biodiversità e dei servizi ecosistemici caratterizzanti.
La laguna di Venezia è la più vasta zona umida del Mediterraneo ed uno dei siti più importanti per la popolazione ornitologica mediterranea, sia per quanto riguarda gli svernanti (410 mila uccelli svernanti censiti nel gennaio 2015; Basso e Bon, 2015) che i nidificanti. Sono state recentemente censite 140 specie di uccelli, che rappresentano circa il 55% delle specie note per l'Italia, di cui 112 sono nidificanti "certe" (Bon *et al.*, 2014). Molte tra queste specie hanno una distribuzione areale ristretta, legata alle zone umide, e sono caratterizzate da popolazioni esigue, minacciate nella loro sopravvivenza.
La costa è in continua evoluzione: l'apporto di sedimenti fluviali e marini, la forza del vento e del mare, l'effetto della vegetazione terrestre, unitamente all'intervento antropico, modellano la morfologia locale influenzando l'ecosistema.
Il litorale veneziano, nelle aree in prossimità delle bocche di porto, è caratterizzato dal susseguirsi di fasce parallele di vegetarione spontanea (Guerzoni e Tagliapietra, 2006; Bon *et al.*, 2014). Man mano che ci si allontana dalla linea di costa si possono incontrare:

- un vasto arenile con la battigia priva di piante ma con materiale spiaggiato sia di origine organica che inorganica (anche antropica); alle spalle vi è una rada ed effimera copertura vegetale pioniera, cui segue la prima comunità perenne che, benchè discontinua, crea gli iniziali ostacoli al trasporto eolico di sabbia, che qui si accumula;
- una fascia di prime dune mobili con specie psammofile, soprattutto *Ammophila arenaria*, seguite da dune stabilizzate dalla vegetazione, che possono raggiungere anche altezze di 8-9 m. La serie continua con dune costiere fisse a vegetazione erbacea, muschi e licheni, che sono denominate "dune grigie" (con comunità vegetali riferibili al *Tortulo-Scabiosetum*), habitat di interesse comunitario secondo la Direttiva Habitat;
- un ambiente retrodunale, con morfologia complessa, ove i rilievi asciutti si alternano a depressioni umide a canneto (con, ad esempio, *Phragmites australis*); qui si alternano praterie a copertura compatta, specie alofile a giunchi (quali associazioni *Puccinellio festuciformis-Juncetum maritimi*) e specie igrofile. Queste aree sono habitat specifico per specie di vegetali (quali *Salicornia veneta* e *Kosteletzkya pentacarpos*) nonchè di anfibi di interesse conservazionistico. Dietro a tali ambienti si trovano, a volte, comunità di

2. Barene in laguna sud (A) e litorale in prossimità del centro abitato di Pellestrina (B).

arbusti, legati o meno ad ambienti umidi, alternati a comunità di specie erbacee (quale l'associazione a *Eriantho-Schoenetum*);

• nelle aree non occupate dagli insediamenti umani, segue un ambiente che è stato oggetto di piantumazione di specie alloctone e quindi ora occupato principalmente da pineta artificiale a *Pinus pinea* e *Pinus pinaster*, boscaglia a latifoglie e arbusti.

I moli foranei, costruiti nel XIX secolo per contrastare la naturale tendenza all'interrimento dei canali e consentire l'accesso a Venezia a navi con maggiore stazza ed opera viva, delimitano le bocche di porto e ne influenzano la morfologia (Amos *et al.*, 2010). Mentre su tali substrati rocciosi antropogenici si sono costituiti stabili e ricchi ecosistemi (la comunità vegetale è composta da macroalghe che si dispongono a differenti profondità, favorendo l'insediamento di organismi zoobentonici e di ittiofauna richiamata dalla presenza di questi habitat), le aree più interne alle tre bocche di porto sono caratterizzate dalla presenza di praterie a fanerogame (*Zostera marina*, *Cymodocea nodosa* e *Nanozostera noltii*). Esse svolgono una doppia fondamentale funzione ecologica: hanno un importante ruolo per il mantenimento della morfologia lagunare, sono aree di "nursery" per la fauna ittica (anche per specie di interesse comunitario quali il nono, *Aphanius fasciatus*, e il ghizzetto, *Knipowischia panizzae*, o commerciale quale l'orata, *Sparus aurata*) e per l'epifauna bentonica sessile e vagile. Anche nella Water Framework Directive (2000/60/EC) si individuano queste macrofite quali elementi indicatori di livello integrato e riassuntivo delle condizioni dell'intero corpo lagunare.

Anche le aree litoranee veneziane sono sottoposte ad una intensa pressione antropica che ne provoca una riduzione di superficie, in quanto sede di alcuni centri abitati (Lido, Malamocco, Pellestrina, Chioggia, ecc.) interessati da turismo balneare, transito di navi (petroliere, cargo, da crociera), pescherecci e imbarcazioni da diporto. A titolo di puro esempio, è probabile che il drastico calo lungo i litorali veneziani di alcune specie di uccelli nidificanti di interesse comunitario, quali fratino, *Charadrius alexandrinus*, e fraticello, *Sternula albifrons*, evidente nell'ultimo decennio (Bon *et al.*, 2014), sia dovuto principalmente alla elevata pressione antropica, soprattutto estiva, oltre che alla degradazione degli habitat di nidificazione. L'ambiente litoraneo è quindi in continua evoluzione, sia dal punto di vista morfologico che funzionale.

La laguna di Venezia: classificazione normativa

La legge italiana ha riconosciuto una "specialità" per Venezia e la sua laguna anche per la tutela ambientale. Sono molte le disposizioni legislative che si sono susseguite negli anni riguardo l'ambiente lagunare sia come provvedimenti *ad hoc* sia come specificazioni di leggi valide per tutto il territorio nazionale; non è questo il luogo per offrire un loro compendio.

Risulta invece utile allo scopo di questo volume richiamare le disposizioni derivanti dall'applicazione di normative comunitarie ed internazionali.

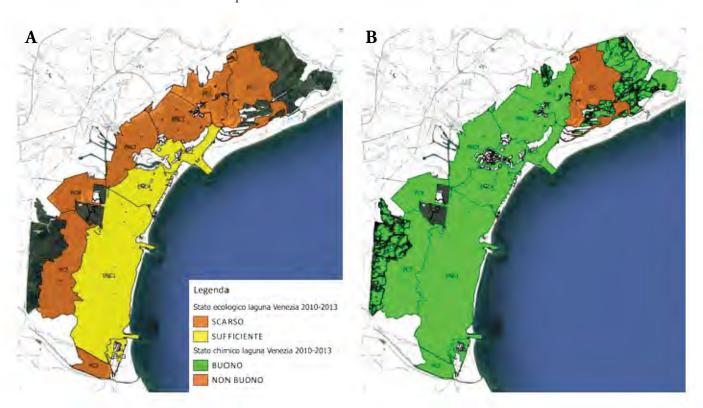
In particolare, la laguna è soggetta alla considerazione di due importanti dispositivi dell'Unione Europea: Rete Natura 2000 e Direttiva Quadro sulle Acque (Water Framework Directive 2000/60/EC-WFD).

Nella Rete Natura 2000 sono compresi (figura 1):

- due Siti di Importanza Comunitaria (SIC): la Laguna medio-inferiore di Venezia (SIC IT3250030) e la Laguna superiore di Venezia (SIC IT3250031), individuati per la presenza di habitat e specie presenti negli allegati I e II della Direttiva "Habitat" 92/43/CEE,
- una Zona di Protezione Speciale (ZPS): la Laguna di Venezia (ZPS IT3250046),
- e due zone SIC/ZPS situate attorno alle bocche di porto (IT3250003-Penisola del Cavallino: biotopi litoranei e IT3250023-Lido di Venezia: biotopi litoranei),

identificate per la presenza di specie di cui all'allegato I della Direttiva "Uccelli" 79/409/CEE, ora Direttiva 2009/147/CE.

Secondo la WFD, la laguna di Venezia fa parte del bacino idrografico delle Alpi orientali, ricompresa nella subunità idrografica "Bacino scolante, laguna di Venezia e mare antistante". Nell'ambito del Piano di Gestione previsto dalla Direttiva[1], in applicazione del Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 131/2008, nella laguna di Venezia sono stati individuati 14 corpi idrici, di cui 11 *naturali* e 3 *fortemente modificati* (Valli laguna nord, Centro storico e Valli laguna centro sud).
Le valli da pesca vengono definite come corpo idrico fortemente modificato poichè è stato artificialmente bloccato lo scambio di acque con la laguna circostante. Si tratta quindi di zone che a tutti gli effetti presentano alterazioni delle caratteristiche idromorfologiche come risultato di alterazioni generate dall'attività umana.
Tutti i corpi idrici della laguna di Venezia sono stati preliminarmente classificati come "a rischio" e pertanto è stato applicato a tutti il monitoraggio operativo, come riportato nel Piano di Gestione.
Al termine del primo ciclo di monitoraggio 2010-13, è stata fatta una valutazione complessiva sia dello stato ecologico che dello stato chimico (figura 3), formulando una proposta di classificazione che è stata recepita nel Primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque di marzo 2016.
La presenza di importanti popolazioni di uccelli ha portato l'associazione Bird International ad identificare, nel 2003, circa 70.000 ettari della laguna di Venezia come "Important Bird Areas-IBA", area prioritaria per la conservazione degli uccelli.
Infine, buona parte della laguna avrebbe le caratteristiche per far parte delle aree umide di importanza internazionale ai sensi della Convenzione di Ramsar (1971) che attualmente, di tutta la laguna, considera la sola Valle Averto (circa 5 Km², figura 1).

[1] www.alpiorientali.it

3. La laguna di Venezia, secondo la attuale classificazione Direttiva 2000/60/CE (Primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque, 2016), suddivisa in Corpi Idrici:
A) stato ecologico della Laguna;
B) stato chimico.

Lo scambio mareale ed il fenomeno dell'acqua alta

La marea è un fenomeno dovuto all'attrazione gravitazionale esercitata dalla Luna e dal Sole sulle grandi masse oceaniche. Poiché il Mediterraneo è un mare di ridotte dimensioni, l'escursione di marea è contenuta; tuttavia, a motivo della sua posizione all'estremità di un bacino semichiuso, l'area dell'alto Adriatico è soggetta alle più ampie escursioni di marea nell'intero Mediterraneo, sino a circa 100 cm in fase di sizigie (ovvero nei periodi di luna nuova o luna piena). A Venezia la marea astronomica descrive una curva di tipo prevalentemente semidiurno, con due massimi e due minimi nelle 24 ore. Il volume medio giornaliero di acqua scambiata, due volte al giorno, tra laguna e mare è notevole, ovvero circa 400 milioni di m^3 (Gačić *et al.*, 2002).
Il fenomeno dell'"acqua alta" è determinato da eventi meteo marini occasionali (vento e pressione barometrica), che da soli possono creare innalzamenti del livello marino maggiori di un metro e che sono generalmente accompagnati da oscillazioni di livello tra nord e sud dell'Adriatico (Trincardi *et al.*, 2016). I fenomeni di acqua alta sono temporanei: durando mediamente, salvo situazioni eccezionali, circa due ore e mezza.
L'eustatismo e la subsidenza, rispettivamente il fenomeno a scala globale che si riferisce all'aumento del volume dell'acqua principalmente dovuto allo scioglimento dei ghiacci ed all'incremento della temperatura degli oceani, e il processo a scala regionale di abbassamento del suolo generato da tettonica, consolidazione dei sedimenti, estrazione di fluidi dal sottosuolo, hanno portato all'aumento del livello mare relativo. Tale innalzamento è di circa 26 cm (Trincardi *et al.*, 2016), valutato come valore medio nel centro storico per il periodo 1908-2016. È da tener presente che il RSLR è estremamente variabile nella aree costiere ed il valore medio calcolato per la città di Venezia è poco rappresentativo per l'intera laguna, in quanto la subsidenza è molto eterogenea (Tosi *et al.*, 2013); per il bacino lagunare sono stati misurati valori di subsidenza fino a sei volte superiori a quelli rilevati nel centro storico (Tosi *et al.*, 2016).
L'aumento del livello medio del mare è il principale responsabile della frequenza degli allagamenti del centro storico (assieme all'eventuale aumento dell'intensità degli eventi estremi); gli eventi eccezionali sopra i 140 cm, quota alla quale viene allagato il 59% della città (Comune di Venezia, 2015), sono avvenuti "solo" 18 volte dal 1897 ad oggi, di cui solo 5 sino alla fine degli anni '60 (compreso l'evento del 1966) e ben 9 dal 2000 in poi.
Il V rapporto della Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) indica un *range* di possibile innalzamento del livello medio mare al 2100 (a livello globale, rispetto ai valori del 2000), a causa dei cambiamenti climatici nei differenti scenari, compreso tra 17 e 82 cm. Le previsioni riferite al Mediterraneo sono ancora più incerte, date le sue caratteristiche di bacino semichiuso, nel quale l'effetto di aumento di salinità dovuto all'evaporazione contrasta l'effetto di espansione dovuto all'aumento di temperatura. I modelli attuali mostrano inoltre che l'intensità degli eventi meteo marini estremi nell'alto Adriatico potrebbe diminuire nelle prossime decadi (Lionello *et al.*, 2016).

Il MOSE: non solo semplici paratoie

Il Sistema MOSE per la difesa degli abitati della laguna di Venezia dagli allagamenti ha l'obbiettivo di rendere possibile una separazione momentanea tra mare e laguna, durante i fenomeni meteo marini più intensi che provocano un rialzo del livello marino.
Il cuore del MOSE consiste in 78 paratoie metalliche mobili ed indipendenti, tutte di larghezza pari a 20 m, ma diverse come lunghezza (da 18,5 a 29 m) e spessore (da 3,6 a 5 m), raccolte in quattro schiere alle tre bocche di porto, in grado di isolare la laguna dal mare durante gli eventi di alta marea superiori ad una quota prestabilita. Esse

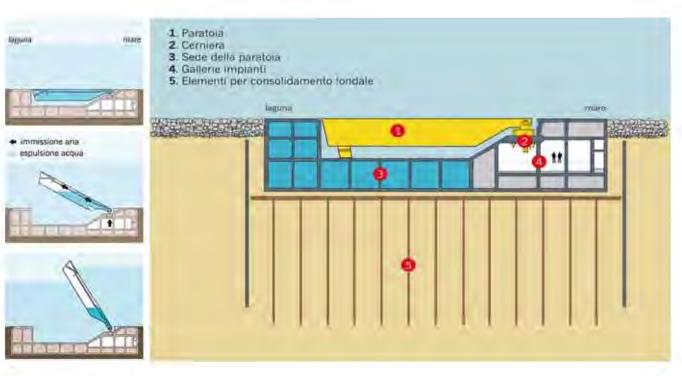
sono così raccolte: due schiere di paratoie di 21 e 20 elementi alla bocca di porto di Lido, la più ampia, collegate da un'isola artificiale; una schiera di 19 paratoie alla bocca di porto di Malamocco; una schiera di 18 alla bocca di porto di Chioggia. Le paratoie sono alloggiate in "cassoni", pesanti strutture in calcestruzzo adagiati all'interno di una trincea scavata nel fondale marino, preventivamente consolidato tramite infissione di pali o con iniezioni di cemento. Le dimensioni dei cassoni variano a seconda della lunghezza delle paratoie che devono contenere, a loro volta proporzionali alla profondità del canale di bocca: si va dai più piccoli di Lido (60x36x8,7m) fino ai più grandi di Malamocco (60x48x11,55m). I cassoni di alloggiamento, allineati tra di loro, costituiscono lo sbarramento della bocca vero e proprio, mentre quelli "di spalla" permettono l'interfaccia tra i cassoni di alloggiamento e l'aggancio con la terraferma, con al proprio interno le vie per far scendere impiantistica e maestranze. Le strutture più imponenti delle barriere sono quelle di spalla, alte fino a 28 m a Malamocco, e che hanno una superficie di 60 m per 24 m. In totale per le tre bocche di porto sono stati realizzati 35 cassoni[2].

Le "cerniere" vincolano le paratoie ai cassoni e ne consentono il movimento; le paratoie, infatti, normalmente piene d'acqua e adagiate sul fondo, possono venir sollevate, in circa 30 minuti, attraverso l'immissione di aria compressa, che le svuota dall'acqua e ne permette l'emersione (figura 4). Quando la marea cala, le paratoie vengono di nuovo riempite d'acqua e fatte riadagiare nei cassoni.

Per assicurare il mantenimento della navigazione da e per la laguna anche durante i periodi di chiusura delle barriere e non interrompere le attività del Porto di Venezia sono state realizzate conche di navigazione: alla bocca di porto di Malamocco per il passaggio delle navi di maggiori dimensioni dirette a Porto Marghera, mentre alle bocche di Lido e a Chioggia le conche sono dimensionate per il passaggio di imbarcazioni da diporto e pescherecci.

La realizzazione del MOSE ha richiesto inoltre interventi ingenti di rafforzamento dei moli foranei e la costruzione di strutture in scogliera in mare (lunate), per la limitazione del moto ondoso nell'area di bocca.

[2] I dati riguardo alle paratoie ed i cassoni, così come altre informazioni generali sul MOSE, sono presi dal sito www.mosevenezia.eu

4. Movimento delle paratoie del MOSE che, in fase di emersione, fungono da barriera che separa temporaneamente il mare Adriatico dalla laguna di Venezia (dal sito www.mosevenezia.eu).

La realizzazione del MOSE: i lavori alle bocche di porto in breve

I lavori per la realizzazione del MOSE hanno preso avvio, contemporaneamente alle tre bocche di porto, nel 2003[3]. La costruzione ha visto 18 chilometri di cantieri lineari a terra e in mare, coinvolgendo direttamente o indirettamente quasi 4000 addetti. Durante tutti questi anni, i cantieri hanno utilizzato un numero elevato di macchine, attrezzature e materiali da costruzione.
Nella consapevolezza che i cantieri avrebbe insistito in aree molto delicate dal punto di vista ambientale, essi sono stati subito organizzati in maniera da interferire il meno possibile con il territorio limitrofo: i cantieri sono stati in gran parte allestiti su spazi acquei provvisori e la movimentazione di macchinari e materiali avviene principalmente via mare per non gravare sul sistema viario del litorale. Inoltre, il normale transito delle imbarcazioni attraverso le bocche di porto non è stato interrotto che in brevi e cruciali fasi di cantiere.
Di seguito, è presentata la descrizione delle principali lavorazioni eseguiti in ciascuna bocca di porto, con particolare riferimento a quelle più rilevanti dal punto di vista degli impatti.
Data la larghezza della *bocca di porto di Lido* (figura 5), qui sono state realizzate 2 schiere di paratoie: una nel canale Lido-Treporti, largo 420 m e profondo 6 m, e una nel canale Lido-San Nicolò, largo 400 m e profondo 12 m, raccordate ad una isola artificiale, che contiene gli edifici tecnologici di controllo per il funzionamento delle due barriere, costruita appositamente a partire dal 2005.
Le aree che sostengono i cassoni sono state delimitate dai palancolati di barriera e dragate rispettivamente fino a quota -13 m e -16 m e quindi consolidate, con jet grouting a Lido-Treporti e con pali di consolidamento in cemento armato a Lido-San Nicolò.
Sul lato nord della bocca (cantiere di Punta Sabbioni), in un'area prima esclusivamente

[3] Sito web http://opencantieri.mit.gov.it

5. Bocca di porto di Lido con le opere previste dal Sistema MOSE (dal sito www.mosevenezia.eu).

marina, è stato realizzato il "porto rifugio", costituito da due bacini collegati da una conca di navigazione. Il bacino lato mare è stato temporaneamente messo all'asciutto ed impermeabilizzato, realizzando una tura per mezzo di palancolato metallico e diaframma plastico. Quest'area nel periodo 2006-2014 è stata usata come area di cantiere per la costruzione dei cassoni di alloggiamento delle paratoie per la barriera del canale di Lido-Treporti. L'impianto di betonaggio era ubicato all'interno dello stesso cantiere. Costruiti i cassoni, la tura è stata riallargata e i cassoni sono stati trasportati, in galleggiamento, al centro del canale, posizionati sul fondale e zavorrati (anno 2012). Tra il 2012 e il 2014 sono state installate tutte le paratoie e sono in corso di svolgimento test di sollevamento.
Sul lato sud della bocca, cantiere di San Nicolò, i 7 cassoni di alloggiamento ed i 2 cassoni di spalla, posizionati nel periodo 2013-2014 sul fondale consolidato, sono stati costruiti nel cantiere di Malamocco.
All'esterno della bocca, la diga foranea, o lunata, costruita nel periodo 2010-2012, è lunga 1000 m.
Il canale della *bocca di porto di Malamocco* (figura 6) è largo 380 m e profondo 14 m. Il consolidamento del fondale all'interno del recesso di barriera è stato eseguito tramite l'infissione di pali in cemento armato.
All'esterno della bocca di porto, verso sud, è stata costruita, nel 2003/06, la scogliera curvilinea (lunata) lunga circa 1300 m che smorza le correnti di marea e delimita un bacino di acque calme a protezione della conca di navigazione per il transito delle navi dirette al Porto di Venezia, la costruzione della quale è terminata nel 2014.
Nello stesso anno sono stati affondati i 9 cassoni in calcestruzzo per l'alloggiamento delle paratoie nel canale di Malamocco. Essi sono stati costruiti tra il 2009 ed il 2013, assieme ai cassoni destinati al canale di Lido-San Nicolò, nell'ampio cantiere provvisorio ubicato nel lato sud della bocca di porto, ove è stato posizionato anche l'impianto di betonaggio. Ciascuno dei cassoni è stato varato tramite una speciale piattaforma mobile (denominata Syncrolift) e trasportato in galleggiamento fino al sito di destinazione, ove è stato ca-

6. Bocca di porto di Malamocco con le opere previste dal Sistema MOSE (dal sito www.mosevenezia.eu).

7. Bocca di porto di Chioggia con le opere previste dal Sistema MOSE (dal sitowww.mosevenezia.eu).

lato e zavorrato in maniera definitiva.
Gli edifici di controllo per il funzionamento del Sistema sono ubicati in prossimità della conca, nel lato sud della bocca di porto.
Nel lato nord della *bocca di porto di Chioggia* (figura 7), a Ca' Roman, è in corso di realizzazione il porto rifugio con doppia conca di navigazione e doppio canale per il transito di piccole imbarcazioni da diporto e pescherecci. Tra il 2008 ed il 2014 il bacino lato mare, delimitato da palancolato, è stato temporaneamente messo all'asciutto, impermeabilizzato e usato come area provvisoria di cantiere per la costruzione dei 6 cassoni di alloggiamento delle 18 paratoie di questa barriera e dei 2 cassoni di spalla. Essi sono stati posati nel canale di Chioggia, largo 360 m e profondo 11 m, nell'estate del 2014 dopo che il fondale, dragato fino alla quota circa -22 m, era stato consolidato con pali in acciaio nel periodo 2008-09. Anche in questo caso l'impianto di betonaggio era ubicato all'interno dello stesso cantiere di Ca' Roman.
Nel terrapieno sul lato sud della bocca, a Sottomarina, costruito a ridosso della sponda preesistente, sono in fase di ultimazioni i principali fabbricati e gli impianti per il funzionamento delle paratoie.
All'esterno della bocca di porto è presente la lunata di circa 500 m, la cui costruzione è terminata nel 2004.

Il Piano di monitoraggio

Storia ed impostazione del Piano di monitoraggio

Il Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia) attraverso il concessionario di Stato, Consorzio Venezia Nuova, ha affidato a CORILA la progettazione e l'esecuzione del Piano di monitoraggio, in considerazione delle sue competenze e terziarità sia

nei confronti dei costruttori sia dell'Ente di supervisione. CORILA si è avvalso dei più aggiornati strumenti e delle più aggiornate competenze coinvolgendo dodici Istituzioni ed Enti di ricerca nazionali e alcune aziende specializzate.
Il Piano di monitoraggio, iniziato contemporaneamente ai lavori di costruzione del MOSE, nel 2004, ha preliminarmente stabilito i parametri ambientali ed economici che potessero rappresentare indicatori precoci di modificazioni ambientali. Con il passare degli anni e in considerazione dei risultati ottenuti e dell'avanzamento dei lavori, i parametri da verificare si sono ridotti; le attività concrete del Piano vengono infatti definite annualmente.
Un punto di partenza per l'identificazione delle grandezze da considerare nel Piano è stato lo Studio di Impatto Ambientale (SIA) degli interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea, redatto nel 1997 dal Magistrato alle Acque-Consorzio Venezia Nuova; esso indicava infatti alcune misure da effettuarsi in fase di costruzione dell'opera. Tale documento tuttavia non fu mai ufficialmente adottato nel processo di approvazione dei lavori. Inoltre, dal momento della redazione del SIA, sono intervenute alcune modifiche sia nella legislazione regionale, nazionale ed europea che nelle normative collegate, le quali impongono o suggeriscono l'effettuazione di determinate misure ambientali.
In aggiunta, è apparso evidentemente necessario considerare le modifiche al progetto MOSE, intervenute successivamente alla redazione del SIA (ad es. la realizzazione delle cosidette "opere complementari").
Sulla base di questo complesso di indicazioni, nel Piano di monitoraggio redatto da CORILA ed approvato dal Magistrato alle Acque vengono considerate due tipologie di parametri: i parametri diretti, per i quali esiste una relazione chiara e immediata di causa-effetto tra disturbo generato dalle attività di cantiere ed impatto prodotto, ed i parametri indiretti, dove la relazione causa-effetto è più complessa, ma che possono evidenziare situazioni di stress anche dopo l'esecuzione delle attività di cantiere, o per cause diverse dalla attività di cantiere.
Sono stati pertanto inizialmente esclusi dal Piano intenti di approfondimento conoscitivo generale del funzionamento ambientale, né sono stati trattati settori e luoghi per i quali il nesso causa-effetto con le attività di costruzione fosse, al presente stato delle conoscenze, troppo vago ed incerto.
Tenendo conto anche delle risorse disponibili, la scelta del numero delle misure (in senso tipologico, spaziale e temporale) è stata effettuata adottando un criterio di rilevanza, associato ove possibile all'uso di modelli numerici, validati attraverso l'esecuzione delle misure dirette previste.
I parametri che sono stati individuati come i più significativi fanno parte dei seguenti 5 ambiti o matrici, dove i principali impatti correlati sono indicati tra parentesi:

- Acqua (effetto della torbidità prodotta da scavi, variazioni di trasporto solido e idrodinamica alle bocche di porto);
- Aria (effetti di rumore, polveri e gas prodotti dal cantiere);
- Suolo (variazione dei livelli piezometrici dovuti allo scavo delle "ture");
- Ecosistemi di pregio (effetti su: vegetazione terrestre e marina; invertebrati terrestri endemici; invertebrati acquatici insediati nelle "pozze di sifonamento"; macrozoobenthos alle bocche di porto; comunità benthoniche delle "tegnùe"; uova, larve e giovanili di specie ittiche; avifauna);
- Economia (effetti su pesca, turismo, porto).

Almeno inizialmente, il Piano di monitoraggio ha considerato gli effetti ambientali nelle sole immediate vicinanze delle attività di cantiere alle bocche di porto, ed ha comunque sempre escluso la valutazione dell'esecuzione di opere che avessero luogo in cantieri diversi (es. per la prefabbricazione componenti) od i luoghi di approvvigionamento dei

materiali. Inoltre, non ha volutamente preso in considerazione il destino dei materiali dragati e gli effetti del loro eventuale uso, come ad esempio il ripascimento di fondali o la ricostruzione di barene.
Un primo incremento dei parametri e dei luoghi di indagine è avvenuto però già il secondo anno di attività, su sollecito della Commissione Europea che, come conseguenze della procedura d'infrazione 4762/2003 per violazione dell'art. 4 della Direttiva 79/409/CEE (Direttiva "Uccelli") e alla successiva messa in mora complementare 4763/2003 per violazione delle Direttive 79/409/CEE e 92/43/CEE (Direttiva "Habitat"): la CE impose di estendere i monitoraggi alle praterie a fanerogame, dalla sola bocca di Lido, alle tre bocche di porto e di includere anche i monitoraggi agli invertebrati terrestri-coleotteri e agli invertebrati acquatici delle pozze di sifonamento, su suggerimento del Comune di Venezia.
In alcuni casi, attività di campo previste inizialmente, una volta diminuite le attività di cantiere in grado di generare impatti, sono state nel tempo rimodulate o sostituite con altre: ad esempio, le misure dirette della qualità dell'aria sono state sostituite progressivamente con simulazioni modellistiche.
Al contrario, a seguito dell'evidenziarsi di situazioni di criticità, il Piano iniziale è stato integrato con attività aggiuntive specifiche che aiutassero a contestualizzare e comprendere meglio gli eventi in atto, anche al fine di imputarli o meno alle lavorazioni in corso alle bocche di porto. È il caso, ad esempio, delle comunità ornitiche proprie del Bacan, alla bocca di porto di Lido, ove nel 2007 fu registrata una contrazione della biodiversità e della numerosità di individui. In questo caso, l'anno successivo è stato avviato un monitoraggio degli uccelli limicoli esteso a tutta l'area lagunare, parallelamente ad uno studio innovativo a carattere sperimentale per la misura dello stress individuale degli uccelli. Queste attività sono state decisive per rassicurare riguardo il sostanziale rispetto delle

8. La configurazione delle tre bocche di porto della laguna di Venezia con il MOSE, le stazioni e le aree indagate nel corso dei 10 anni di monitoraggio.
A) Bocca di porto di Lido;
B) Bocca di porto di Malamocco;
C) Bocca di porto di Chioggia.
Dati mappa ©2016 Google.

B

Legenda

Stazioni monitoraggio

Acqua

Aria

Benthos

Fanerogame

Rumore

Suolo

Avifauna

Fanerogame

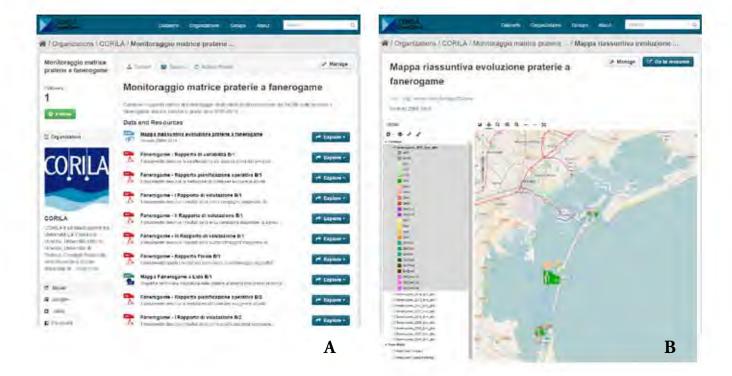
Coleotteri

Tegnue

Cantieri MOSE

0 1000 2000 3000 m

comunità ornitiche lagunari.
In generale, il metodo base delle misurazioni di monitoraggio ambientale è il confronto, per ciascun parametro, con un valore soglia. Tali valori di riferimento, quando non già precisamente indicati dalla normativa vigente (europea, nazionale, regionale), sono stati definiti sulla base di misurazioni storiche, di attività di modellazione dedicate o come risultato delle attività iniziali; vengono aggiornati, ove necessario, nel corso degli anni.
In particolare, il Piano ha previsto, in una prima fase, la definizione dello "stato indisturbato di riferimento" con le sue variabilità naturali (stato *ante operam*) che, fungendo da confronto, permette di discriminare gli eventi direttamente imputabili ai cantieri. Per la definizione di tale stato è stato necessario, oltre che effettuare misure dirette, assumere le informazioni già raccolte delle Istituzioni che conducono indagini ambientali nell'area interessata o posseggono dati di interesse: Regione del Veneto, ARPAV, ISPRA, Provincia di Venezia, Comune di Venezia, CNR, Università, ecc.
Nel 2005 sono iniziate le misurazioni, le quali si compongono sia di campagne di monitoraggio brevi e ripetute, che di misurazioni in continuo per lunghi periodi. Alcune delle attività di misura in campo sono state mirate specificatamente a fornire una caratterizzazione delle diverse lavorazioni che avvenivano nei cantieri. Il disturbo ecologico, infine, è stato attentamente studiato considerando anche i possibili effetti cumulativi e di lungo periodo.
Le attività di monitoraggio vengono eseguite da una quindicina di Unità Operative, composte da tecnici e ricercatori di tutti gli Enti soci di CORILA e di primarie Università italiane (per un totale massimo annuo di una novantina di persone direttamente coinvolte), i cui Responsabili riferiscono alla Direzione di CORILA.
Lo sforzo di reportistica è imponente. Oltre ai rapporti di ogni campagna di misura, raccolti mensilmente, i rapporti di analisi dei dati e di valutazione del sistema, in integrazione con informazioni prodotte da altri Enti, hanno cadenza quadrimestrale ed annuale e sono liberamente disponibili sul sito web pubblico www.monitoraggio.corila.it (figura 9). Sul sito, inoltre, è possibile visualizzare e interrogare informazioni geografiche che mostrano l'evoluzione negli anni di specifici tematismi. Documenti, mappe e dati fanno infatti parte di un unico catalogo formato e condiviso attraverso i più recenti standard

9. Nel sito dedicato al Piano di monitoraggio è possibile leggere e scaricare i rapporti prodotti (A) nonchè visualizzare mappe tematiche (B).

web: ogni fonte di informazione è documentata attraverso la compilazione di metadati allineati alle recenti direttive del Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali.

Il ruolo di CORILA: dal coordinamento tecnico-scientifico, all'analisi dei risultati, alla gestione amministrativa

L'elemento determinante del Piano di monitoraggio è costituito dal lavoro della comunità scientifica e dall'integrazione dei risultati delle diverse attività. Non sussiste, nel panorama nazionale, un altro esempio di impegno complessivo e multidisciplinare di paragonabile ampiezza e complessità, su una problematica di una tale portata per la costruzione di una "grande opera" civile, per un tempo così lungo.
CORILA non rappresenta solo una sigla per comprendere i diversi gruppi, né un semplice connettore amministrativo per raccogliere e distribuire le risorse economiche necessarie all'esecuzione, ma è una struttura di coordinamento e indirizzo in grado di sostenere, anche dal punto di vista operativo, tutto l'impianto dei monitoraggi e soprattutto garantire la supervisione scientifica complessiva sull'insieme delle attività.
In modo assai schematico, questi sono stati e sono tuttora i principali compiti svolti dalla struttura operativa di CORILA nell'ambito del Piano di monitoraggio:

- identificazione del gruppo di lavoro, formato da Enti scientifici e da ditte specializzate; costituzione e gestione del Comitato Tecnico di Supervisione, il gruppo di esperti costituito dai Responsabili di Area e di Matrice; rapporti tecnico-ammministrativi con gli interessati e con le Istituzioni di provenienza; completamento della squadra operativa, mediante la contrattualizzazione di professionalità esterne agli Enti di ricerca;
- redazione delle specifiche per il Disciplinare Tecnico e dell'offerta economica collegata; definizione delle attività da svolgere; assistenza all'approvazione del Piano presso gli Enti Pubblici preposti alla verifica ed alla autorizzazione;
- gestione delle comunicazioni e dei rapporti sia con Magistrato alle Acque (ora Provveditorato alle OO.PP.) che con il Concessionario Consorzio Venezia Nuova, sia con gli altri EEPP aventi titolo in materia; collaborazione con l'Ente validatore (vedi par. successivo);
- selezione, acquisto e gestione di una parte della strumentazione; messa a disposizione di una imbarcazione idonea e di conduttori esperti;
- pianificazione delle attività di campo e coordinamento del personale; emissione di rapporti di avanzamento periodici; risoluzione tempestiva delle problematiche, anche di relazione con i cantieri; sopralluoghi presso i cantieri per l'aggiornamento dell'avanzamento dei lavori;
- elaborazione di parte delle informazioni raccolte, in collaborazione con i gruppi operativi; lettura critica delle relazioni periodiche prodotte dai gruppi ed agevolazione dell'interscambio dei risultati delle diverse matrici indagate, in un'ottica multidisciplinare; gestione del Database contenente i dati e le informazioni prodotte; gestione della procedura di Anomalia (vedi paragrafo successivo);
- contabilità dei lavori e rendicontazione, gestione amministrativa dei contratti con le Istituzioni esecutrici, persone e ditte esterne;
- divulgazione dei risultati in ambito tecnico/scientifico e comunicazione sia agli Enti pubblici che al pubblico in generale, anche attraverso la realizzazione di brochures informative; allestimento e controllo/aggiornamento dei contenuti del sito web.

CORILA ha utilizzato e fatto crescere al suo interno delle professionalità specifiche e dedicate, in grado di rapportarsi sia con i cantieri che con gli Istituti di ricerca; ha svolto un ruolo di raccordo istituzionale sia con le Istituzioni italiane che con quelle europee, garantendo trasparenza e facilità di accesso alle informazioni.

10. Esempi di differenti tipologie di monitoraggio:
A) Campionamento di postlarve e giovanili di pesci con sciabica;
B) Rilievi avifauna con binocolo;
C) Misura della torbidità: sistema CTD-Minirosette, per caratterizzazione fisica della colonna d'acqua e prelievo campioni, e strumentazione LISST-100X per definizione spettro granulometrico dei solidi sospesi;
D) Misurazioni del rumore con fonometro portatile.

Le attività di validazione per conto del Ministero dell'Ambiente e della Regione del Veneto

Al fine di favorire la chiusura della procedura di infrazione, nel 2009 lo Stato italiano ha assicurato alla Commissione Europea l'assunzione da parte del Ministero dell'Ambiente della funzione di garante della corretta conduzione dei monitoraggi e del rispetto delle regole comunitarie. Ciò ha generato un Accordo di Programma per l'attività di controllo del monitoraggio dei cantieri e delle misure di compensazione del MOSE, tra il Ministero dell'Ambiente, il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti-Magistrato alle Acque di Venezia e la Regione del Veneto; in tale quadro, il MATTM si è avvalso di ISPRA.
Nel 2013, un nuovo Accordo di Programma prevede che la Regione del Veneto, nell'ambito delle proprie competenze, subentri ad ISPRA nel prosieguo delle attività di controllo e verifica del monitoraggio dei cantieri del Sistema MOSE e delle misure di compensazione, conservazione e riqualificazione ambientale nel rispetto delle Direttive e prescrizioni comunitarie.

Segnalazioni di Anomalie e misure di mitigazione e di compensazione

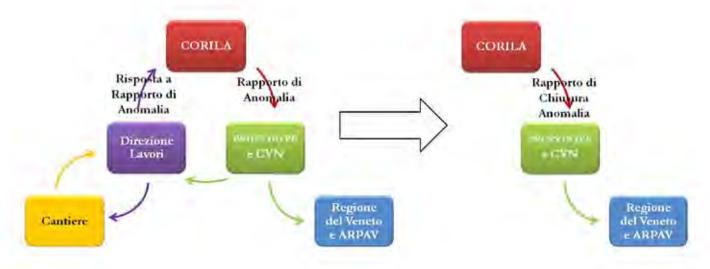
Sulla base di quanto sopra, dal 2010 è stata ottimizzata, assieme ad ISPRA, una procedura da attuare nel caso si rilevino superamenti dei limiti previsti; tale procedura (figura 11), prevede l'immediato invio da parte di CORILA al Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia di un "Rapporto di Anomalia" che descrive l'accertata situazione di criticità, eventualmente accompagnato da suggerimenti per la realizzazione di accorgimenti/sistemi di mitigazione tesi a eliminare o diminuire il ripetersi di altre similari anomalie. Dopo la risposta da parte dei cantieri e della Direzione Lavori, CORILA verifica l'efficacia delle misure di mitigazione adottate e produce un "Rapporto di chiusura anomalia", se i problemi vengono risolti o, in caso contrario, trasmette un nuovo "Rapporto di Anomalia" e prosegue i monitoraggi.

Le misure di mitigazione che vengono suggerite riguardano sia l'adozione di strutture per l'abbattimento fisico dell'emissione perturbativa alla sorgente (quali insonorizzazione dei macchinari, posizionamento di barriere fonoassorbenti, panne per la limitazione della dispersione della torbidità, schermature contro l'emissione di gas, bagnatura del terreno e pavimentazione delle strade interne ai cantieri per diminuire la risospensione di polveri) sia il suggerimento di pratiche da utilizzare al ripetersi di simili condizioni ambientali/meteomarine.

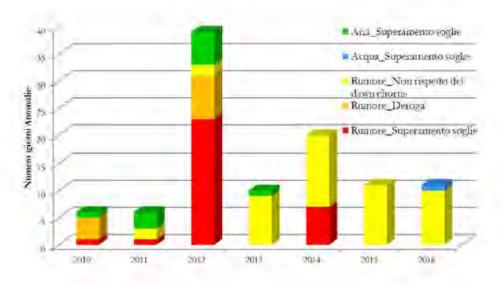
Per quanto riguarda il monitoraggio della torbidità dispersa, ad esempio, nel corso di versamento di pietrame in condizioni di forti correnti di marea, si raccomanda di concentrare il più possibile l'attività di scarico con benna a grappo in concomitanza con valori minimi della velocità della corrente, immergendo completamente lo strumento in acqua prima dell'apertura, al fine di ridurre al minimo i fenomeni di manipolazione eccessiva di materiali in sospensione.

Una importante misura mitigatrice proposta ed applicata con la collaborazione dei cantieri è la sospensione, nel periodo di nidificazione dell'avifauna (aprile-giugno), delle attività rumorose dei cantieri in orari di particolare sensibilità della comunità ornitica e cioè nelle ore subito successive all'alba (*dawn chorus*), al fine di non interferire con il momento più rilevante del ciclo biologico degli uccelli; infatti è documentato che i rumori di attività antropiche possono causare il mascheramento della comunicazione intraspecifica tramite il canto.

Oltre alle misure di mitigazione, sono state proposte alcune misure di compensazione di carattere generale, da applicare di concerto con gli Enti competenti (Regione del Veneto, Provincia di Venezia, Comuni, ecc.) quali, ad esempio, la predisposizione di sentieri per l'attraversamento obbligato nelle aree di nidificazione di fratino e fraticello; una oppor-

11. La procedura di gestione dei Rapporti di Anomalia.

tuna gestione dei metodi e dei tempi di ripulitura delle spiagge dai detriti, per proteggere sia l'ecosistema tipico dei coleotteri di pregio sia i siti di nidificazione dell'avifauna; il rafforzamento delle attività di sensibilizzazione, informazione ed educazione ambientale in situ per aumentare la conoscenza delle specie di interesse conservazionistico e delle criticità cui sono soggetti i litorali.

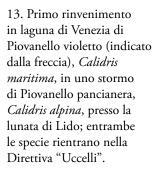
Il rispetto dei limiti da parte dei cantieri ed altri risultati ancillari

I cantieri, attraverso il Consorzio Venezia Nuova, sono sempre stati a conoscenza dei limiti ambientali imposti e della sussistenza di specifici controlli. La loro organizzazione *ab origine* ha mirato a rispettare tali limiti. I sistemi automatici di rilevazione ed i numerosi operatori sul campo hanno svolto, nei confronti dei cantieri, anche un ruolo simile a quello di una sentinella, la cui sola presenza dissuade dal commettere un'infrazione.
Ciò ha prodotto la scarsa rilevanza complessiva di effetti negativi riferibili ai cantieri, come testimoniano i risultati dei monitoraggi, così come il numero dei Rapporti di Anomalia inviati nel corso degli ultimi 7 anni. Il grafico di figura 12 riassume numero ed origine delle segnalazioni effettuate: la maggior parte di esse riguarda il rumore ed è evidente l'effetto della lavorazione di battitura pali per il consolidamento dei fondali, svolta nel 2012 presso la bocca di Malamocco.
Le numerose misurazioni e le attività modellistiche integrate hanno avuto come scopo l'individuazione non solo dell'eventuale "problema", ma anche della sua sorgente, inclusa la modalità di trasmissione. In generale, la sensibilità della rilevazione doveva mantenersi elevata, al fine di cogliere le prime avvisaglie e non già registrare il danno avvenuto, e la distinzione con le altre potenziali sorgenti e rispetto il valore di fondo naturale ha richiesto un rilevanete sforzo intellettuale/scientifico.
In alcun limitati casi, a testimonianza della complessità dei temi affrontati e nonostante lo svolgimento di attività integrative, non è stata data una completa spiegazione a segnali di disturbo. Ad esempio, i parametri relativi all'epifitismo dei ciuffi fogliari delle fanerogame hanno evidenziato una situazione di attenzione/criticità, ma neppure i risultati di mirate attività integrative, quali l'esecuzione di ulteriori attività di campo e l'utilizzo di modelli matematici sulle variazioni di torbidità e velocità delle correnti alle bocche di porto, hanno permesso di identificare le cause delle variazioni osservate.
Anche se il controllo degli impatti dei cantieri e la loro minimizzazione è sempre stato lo scopo del Piano di monitoraggio, è indubbio che le attività di monitoraggio, protrattesi per oltre un decennio, hanno permesso di ottenere anche altri risultati ancillari relativamente alla conoscenza dei processi ambientali lagunari, alcuni dei quali sono di rilevante

12. Numero di giornate per le quali è stato inviato un Rapporto di Anomalia per anno, da gennaio 2010 ad aprile 2016, suddivise nelle diverse tipologie: "superamento soglie", "mancato rispetto delle prescrizioni delle deroghe del Comune di Venezia sugli orari di sospensione delle attività", "non rispetto degli orari di *dawn chorus*". Tutti i Rapporti di Anomalia sono stati chiusi.

importanza. Essi sono così riassumibili schematicamente:

- una più ampia conoscenza del regime di variabilità di alcune grandezze fisiche prima poco note (a mero titolo di esempio, il PM_{10} nella zona litoranea, la dinamica dei sedimenti alle bocche, l'interazione tra acqua dolce e salata nelle zone prospicienti le bocche, ecc.);
- un aumento della conoscenza dei fenomeni naturali, grazie al protrarsi in maniera continuativa dei rilievi per un periodo di tempo tanto esteso;
- un aumento della conoscenza di particolari nicchie ecologiche, quali gli ambienti ipersalini delle "pozze di sifonamento" alla bocca di Malamocco;
- l'aggiornamento e l'approfondimento delle conoscenze di alcuni settori in precedenza poco considerati, quali ad esempio le specie entomologiche di particolare interesse conservazionistico del litorale veneziano o la valutazione della connettività ecologica tra mare e acque di transizione attraverso l'analisi approfondita della distribuzione di uova, larve e novellame di specie ittiche migranti;
- lo svolgimento di nuove analisi interdisciplinari, quali ad esempio l'approfondimento della relazione tra le variazioni di torbidità e lo stato delle praterie a fanerogame, oppure lo studio del rapporto tra le emissioni rumorose provenienti dai cantieri e gli effetti sull'avifauna.

Considerazioni conclusive

Il progetto MOSE è senza dubbio la più grande opera di ingegneria marittima realizzata in tempi moderni in una laguna ed il programma di monitoraggio è parimenti assai esteso.
"Monitorare" non è solo "misurare"; il Piano di monitoraggio ed i suoi esecutori non si sono sottratti dal fornire possibili suggerimenti per limitare le pressioni delle opere, nonché dall'eseguire un esame attento delle azioni di mitigazione eseguite.
Per l'esecuzione del Piano sono state usate le tecniche e gli strumenti di misurazione più aggiornati, basandosi sull'esperienza di primarie Istituzioni scientifiche, con l'ausilio di società tecniche con pluriennale esperienza in laguna di Venezia.
Le attività di monitoraggio fin qui svolte hanno permesso di caratterizzare approfonditamente l'ambiente alle bocche di porto e le diverse fasi di lavoro di cantiere, nonchè di definire, ove possibile, i nessi causali delle perturbazioni rilevate. È stato quindi possibile indirizzare limiti e correzioni alle attività di cantiere, proponendo mitigazioni e compensazioni.

13. Primo rinvenimento in laguna di Venezia di Piovanello violetto (indicato dalla freccia), *Calidris maritima*, in uno stormo di Piovanello pancianera, *Calidris alpina*, presso la lunata di Lido; entrambe le specie rientrano nella Direttiva "Uccelli".

Un'alta "sensibilità di monitoraggio" ha reso possibile l'identificazione di tutti i segnali di disturbo per l'ecosistema, anche se non necessariamente a causa delle attività di cantiere; ciò ha permesso di adottare le migliori misure tecniche di mitigazione, ancor prima che dal disturbo si passi al danno ambientale.
Per quanto riguarda le attività economiche oggetto di monitoraggio, non solo si è constatata l'assenza di impatti reali, ma si sono stabilite metodologie ed azioni utili alla valutazione della percezione degli impatti da parte degli operatori interessati, nonché una solida base informativa.
Il Piano di monitoraggio ha permesso da un lato di prevenire possibili danni all'ambiente ed all'economia locale, attuando una meticolosa sorveglianza e valutazione degli impatti, dall'altro di accumulare una serie di informazioni che saranno utili anche nella successiva fase di gestione del sistema, a MOSE realizzato.
Lo schema del Piano di monitoraggio e la sua conduzione rappresentano altresì una importante assunzione di responsabilità da parte della comunità scientifica, che ha espresso una propria capacità di coordinamento interdisciplinare. Tale modello, dalle caratteristiche originali nel nostro Paese, può essere esportabile in altri contesti ed in altri luoghi, non solo italiani.

Ringraziamenti

Si ringraziano le numerose persone della struttura operativa di CORILA che hanno preso parte alle varie attività svolte nell'ambito del monitoraggio. In particolare, quanti hanno più stabilmente collaborato con gli autori del presente testo: Chiara Dall'Angelo, Simona Dalla Riva, Barbara Giuponi, Alessandro Meggiato, Matteo Morgantin, Enrico Rinaldi, Andrea Rosina, Francesca Tonin, Daria Tonini, Giovanni Venier.

Bibliografia

Amos C.L., Umgiesser G., Townend I. H. (2010) The coastal morphodynamics of Venice lagoon, Italy: An introduction. Continental Shelf Research, 30, 837-846.

Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta e Bacchiglione e Autorità di bacino del fiume Adige-Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (2016) Piano di gestione delle acque del Distretto idrografico delle Alpi orientali-Aggiornamento 2015-2021.

Basso M. e Bon M. (2015) Censimento degli uccelli acquatici svernanti in provincia di Venezia, Gennaio 2015. Provincia di Venezia-Servizio Caccia e Pesca. Relazione non pubblicata.

Bon M., Scarton F., Stival E., Sattin L. e Sgorlon G. (a cura di) (2014) Nuovo atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Venezia, Associazione Faunisti Veneti, Museo di Storia Naturale di Venezia.

Carbognin L., Teatini P., Tomasin A., Tosi L. (2010) Global change and relative sea level rise at Venice: what impact in term of flooding. Climate Dynamics, vol. 35, 1055-1063.

Carbognin L., Tosi L. (2002) Interaction between Climate Changes, Eustacy and Land Subsidence in the North Adriatic Region, Italy. Marine Ecology, vol. 23, 38-50.

Comune di Venezia, Assessorato al Turismo (2016) Annuario del Turismo, dati 2015.

Comune di Venezia, Centro Maree (2015) Atlante Passerelle 2014-2015.

Gačić M., Kovačević V., Mazzoldi A., Paduan J., Mancero I., Arena F., Gelsi G. (2002) Measuring water exchange between the Venetian Lagoon and the open sea. In EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 83 (20), pp. 217–222.

Gatto P., Carbognin L. (1981) The Lagoon of Venice: natural environmental trend and man-induced modification. Hydrological Sciences Bulletin, 26:4, 379-391.

Guerzoni S. e Tagliapietra D. (a cura di) (2006) Atlante della laguna. Venezia tra terra e mare. Marsilio

IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Lionello P., Conte D., Marzo L., Scarascia L. (2016) The contrasting effect of increasing mean sea level and decreasing storminess on the maximum water level during storms along the coast of the Mediterranean Sea in the mid 21st century, Global and Planetary Change.

Rapporto Censis (2014) Le comunità locali e l'aeroporto di Venezia Marco Polo: un percorso per crescere insieme sintesi del rapporto finale.

Regione del Veneto, Segreteria regionale all'ambiente, Direzione tutela dell'ambiente (2000) Piano Direttore 2000. Piano per la prevenzione dell'inquinamento e il risanamento delle acque del bacino idrografico immediatamente sversante nella laguna di Venezia.

Trincardi F., Barbanti A., Bastianini M., Benetazzo A., Cavaleri L., Chiggiato J., Papa A., Pomaro A., Sclavo M., Tosi L. and Umgiesser G. (2016) The 1966 Flooding of Venice. What Time Taught Us for the Future. Oceanography, in press.

Tosi L., Da Lio C., Strozzi T., Teatini P. (2016) Combining L- and X-Band SAR Interferometry to Assess Ground Displacements in Heterogeneous Coastal Environments: The Po River Delta and Venice Lagoon, Italy. Remote Sensing, vol. 8.

Tosi L., Teatini P., Strozzi T. (2013) Natural versus anthropogenic subsidence of Venice. Scientific Reports, vol. 3, 2710.

Summary

The Venice lagoon is a tidal transition system between land and sea, with an area of about 550 km², of which 8% are occupied by land, around 11% by channels, while the remaining 80% by mudflats and salt marshes. Divided from the Adriatic by two littoral islands, the lagoon maintains connectivity with the sea through the three inlets of Lido, Malamocco and Chioggia. The drainage basin has an area of approximately 1.850 km² and it is occupied by farming and industrial settlements, together with urban areas.
Therefore, the lagoon of Venice can be classified as a microtidal environment, where the hydrodynamic circulation is the main driving force: it is constituted by a highly articulated morphological structure, which defines a composite set of environments, characterized by endemic plant and animal species, some of great value, with a high productivity of ecosystem services.
The Venice lagoon is the largest wetland in the Mediterranean and one of the most important sites for the Mediterranean bird population, both in the wintering that nesting. Moreover, almost all the Lagoon is classified as SPA (Directive 79/409/EEC) and some Sites of Community Importance (Directive 92/43/EEC) are adjacent to the inlets. The lagoon is managed, according to the Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EC), considering 14 water bodies, of which 11 are "natural" and 3 are "highly modified". The Management Plan is in charge of the District Authority for the Easter Alps hydrographical basin.
The lagoon is characterized by a high concentration of human activities around the city of Venice, placed in the middle of the lagoon, and of the port, placed on the lagoon border, adjacent to a large industrial area, which in the past accommodated important chemical plants. The sum of anthropogenic pressures and those due to climate changes put the Venice lagoon at risk of substantial loss of unique habitats.
The astronomical tide in Venice describes a semidiurnal curve, with two maxima and two minima in 24 hours. The average daily volume of exchanged water, twice a day, between the lagoon and the sea is about 400 million m³. The "acqua alta" (literally "high water") phenomenon, which causes the flooding of the city pedestrian pavements, is determined by occasional marine weather events (wind and barometric pressure), usually accompanied by oscillations of level of the Adriatic.
The rise in the average relative sea level (due both to subsidence and eustatism) is largely responsible for the increased frequency of flooding of the old town, by making more likely both medium-scale (less than 110 cm) events and the exceptional (over 140 cm) events, when 59% of the city is flooded. The present decadal average number of "acqua alta" events over 110 cm is 6 per year.
The MOSE System has the aim to separate sea and lagoon during the high tide events, preventing the lagoon water level to rise over a given limit (e.g. 100 cm), through a system of 78 metal independently flap gates installed at the inlets, normally placed on the sea bottom and able to rise up when needed.
Its construction started in 2004 and presently is foreseen to end in 2018. During the peak of activity, about 4.000 workers were present in a number of working sites spread along 18 km of cost.
The conception and execution of a wide and integrated Monitoring Plan about the environmental and socio-economic effects of the MOSE construction has been commissioned to CORILA by the Venice Water Authority (now "Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia"), through the State concessioner Consorzio Venezia Nuova.
The Monitoring Plan has two main aims:

- provide a quick feedback of the maintenance of the environment impact level foreseen by the yard activities;
- provide objective elements of the real incidence of the yard activities, considering the variability of the environmental conditions.

The Monitoring Plan, with a particular attention in the area closed to the construction sites, started together with the construction works in 2004, by defining the list of parameters of concern and appropriate thresholds on the basis of historical measurements and a dedicated modeling activity, especially where the legislation do not offer precise indications.
The Plan consists in both real time monitoring and investigation surveys. The ecological disturbance was carefully studied considering also the possible cumulative effects of a work activity lasting more than 10 years.
The MOSE project is undoubtedly the largest civilian work realized in modern times in the Venice lagoon and the monitoring program is also very extensive.
"Monitor" is not only "measure": in fact, CORILA provided possible suggestions to limit the pressures of the works, as well as careful considerations about mitigation actions.
The monitoring activities allowed also to thoroughly characterize the inlets environment, the different phases of yard activities and to define, where possible, the causal links of the detected disturbance. It was therefore possible to address limitations and corrections to worksite activities, proposing mitigation and compensation.
To have an high monitoring sensitivity allowed the identification of all the interfering signals with the ecosystem, not necessarily caused by the construction activities, and this suggested the adoption of the best technical mitigation measures, before any problem would turn into an environmental damage.
In conclusion, the adoption and the careful conduction of a wide Monitoring Plan during the construction of the MOSE allowed to prevent damages to the environment and to the local economy, controlling the defined thresholds and addressing mitigation and compensation measures when needed. In addition, the related data acquisition provided crucial information that will be useful in the future phase of the MOSE operation.
The monitoring activities involved not only teams of specialists, coming from National Research Institutes and Universities, but also a qualified team on "integrators" in the CORILA's structure, which was able also to maintain the relationships with several Public Authorities and to provide an appropriate data communication. This model of work is original for Italy and could be exported also elsewhere.

Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del Sistema MOSE

Temporal analysis of bird communities in Venice lagoon during the construction of the MOSE System

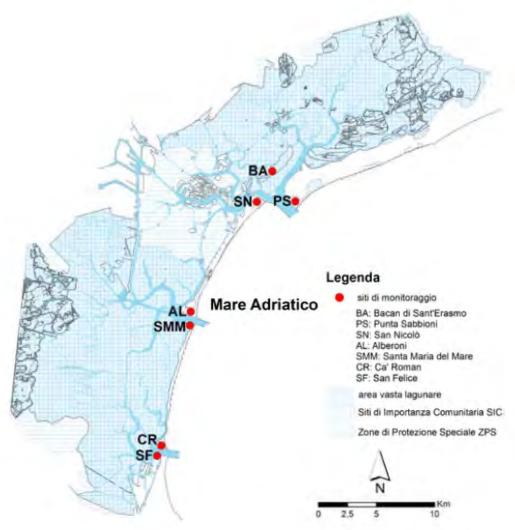
Francesca Coccon, Natale Emilio Baldaccini

Introduzione

Nel 2003 hanno preso avvio in laguna di Venezia i lavori per la realizzazione del Sistema MOSE, un insieme di barriere mobili collocate alle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, atte a separare temporaneamente la laguna dal mare nei casi di alte maree eccezionali, così da salvaguardare la città di Venezia e mitigarne gli effetti sull'ecosistema. Il progetto, ancora in fase di realizzazione, ricade in un'area di particolare valore naturalistico-ambientale per l'immenso patrimonio biologico che la caratterizza. La laguna di Venezia infatti è la più importante zona umida italiana di livello internazionale (Convenzione di Ramsar) ed è ampiamente rappresentata all'interno della rete ecologica europea "Natura 2000" (Direttive 92/43/CEE "Habitat" e 2009/147/CE "Uccelli"), con una Zona di Protezione Speciale estesa all'intero bacino lagunare (ZPS IT3250046-Laguna di Venezia), due Siti di Importanza Comunitaria (SIC IT3250030-Laguna medio-inferiore di Venezia; SIC IT3250031-Laguna superiore di Venezia) e due zone SIC/ZPS situate attorno alle bocche di porto (IT3250003-Penisola del Cavallino: biotopi litoranei e IT3250023-Lido di Venezia: biotopi litoranei). Inoltre, la laguna veneta costituisce la più estesa tra le Important Bird Areas (IBA) nazionali, con il maggior numero di specie di interesse comunitario da preservare (Gariboldi *et al.*, 2000; Brunner *et al.*, 2002).
Data l'importanza ambientale e conservazionistica delle aree interessate dai cantieri per la costruzione del MOSE, per le quali il nostro Paese si è assunto vincolanti impegni nei confronti dell'Unione Europea finalizzati al mantenimento e salvaguardia degli habitat e delle specie in esse presenti, a partire dal 2005 ha preso avvio un Piano di Monitoraggio con l'obiettivo di documentare l'esistenza di eventuali fenomeni di disturbo conseguenti ai lavori alle bocche di porto sull'avifauna. I rilevamenti hanno coinvolto siti di interesse comunitario rappresentativi dei principali habitat presenti in laguna e sono stati condotti durante tutto l'anno, dalla nidificazione allo svernamento passando per i periodi di migrazione primaverile e autunnale, così da seguire in modo continuativo ed esaustivo l'evoluzione specifica e quantitativa delle comunità e documentarne lo status nelle varie fasi del ciclo biologico degli uccelli.
Tale monitoraggio risulta unico nel suo genere non solo per la vastità dell'area interessata dai rilevamenti e il periodo decennale durante cui si è protratto, ma soprattutto perché ha permesso di descrivere le variazioni qualitative e quantitative annuali ed inter annuali delle comunità terrestri e acquatiche, mettendo in evidenza i mutamenti inter-

venuti nei diversi siti e definendo le tendenze cui le comunità sono andate incontro nel tempo. Se è vero infatti che sono disponibili numerosi studi sull'avifauna presente in laguna di Venezia, dai Progetti Atlante condotti a livello locale (Bon e Scarton, 2012; Bon e Stival, 2013; Bon *et al.*, 2014), ai risultati dei censimenti degli uccelli acquatici svernanti IWC, iniziati in laguna nel 1993 (Basso e Bon, 2015 e precedenti), ai lavori condotti da alcuni Autori sull'utilizzo delle barene, naturali e artificiali, come siti di alimentazione, sosta e nidificazione da parte di numerose specie acquatiche (Scarton, 2005; Scarton *et al.*, 2009; Scarton, 2010; Scarton *et al.*, 2013a; Scarton, 2014), altrettanto non si può dire per studi che evidenzino l'evoluzione quantitativa delle comunità ornitiche e le tendenze cui esse sono soggette.
In questo lavoro sono esposti i risultati della analisi dei dati raccolti durante il monitoraggio condotto tra il 2005 e il 2015 nei siti di Punta Sabbioni, San Nicolò, Alberoni, Santa Maria del Mare, Ca' Roman, San Felice, Bacan di Sant'Erasmo e bacino lagunare aperto all'escursione di marea (figura 1). Tale analisi viene presentata in un momento particolarmente significativo dello stato di esecuzione del MOSE, a quasi conclusione dei lavori di maggior portata dell'intero progetto. L'obiettivo è quello di descrivere l'evoluzione temporale delle comunità ornitiche presenti nei siti monitorati e di rilevare possibili variazioni, indicative di modificazioni ecologiche in atto. In particolare questa analisi intende:

a) valutare le comunità ornitiche proprie dei diversi siti sotto il profilo conservazionistico, evidenziando i cambiamenti intervenuti nella occorrenza di specie incluse nelle categorie di minaccia IUCN, ovvero presenti nell'Allegato I della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli";
b) caratterizzare dal punto di vista trofico le comunità proprie dei siti costieri monitorati, valutando i cambiamenti intervenuti nella occorrenza delle singole classi al fine di evidenziare possibili stati di sofferenza degli habitat cui esse sono legate o eventuali alterazioni dell'ambiente che caratterizza tali siti;
c) valutare gli andamenti delle popolazioni nidificanti nei siti costieri mediante applicazione dell'Indice Puntiforme di Abbondanza (IPA);
d) valutare le variazioni intervenute nella comunità ornitica propria del Bacan di Sant'Erasmo attraverso lo studio degli andamenti di tre specie target rilevate nell'area sin dall'inizio del monitoraggio e quindi utili per evidenziare eventuali modificazioni sul lungo periodo.

Il fattore causale primo che viene considerato nella presente analisi è rappresentato dai lavori per la costruzione del MOSE che hanno interessato e tuttora interessano l'area monitorata. È infatti noto che i rumori derivanti da macchine operatrici ed altre attività antropiche non solo possono influenzare parametri descrittori delle comunità ornitiche quali la composizione in specie e la numerosità, ma possono altresì recare un danno fisiologico e modificazioni comportamentali sui singoli individui (Rheindt, 2003; Dooling e Popper, 2007; Brumm e Slabbekoorn, 2005; Slabbekoorn e Ripmeester 2008). Tuttavia, una relazione causale certa non è dimostrabile a priori in quanto nel periodo considerato possono essere intervenuti fattori ambientali plurimi e pressioni antropiche diverse dal MOSE, a causare modificazioni nelle comunità ornitiche e di conseguenza dei parametri ecologici utili a valutarne lo stato. Ne sono un esempio la sempre più frequente sommersione delle barene naturali nel periodo primaverile-estivo ed il crescente disturbo antropico sui litorali che hanno portato ad una modifica dell'habitat di nidificazione di alcune specie come fratino, *Charadrius alexandrinus*, e fraticello, *Sternula albifrons*, passate da nidificare sulle spiagge del litorale veneziano alle barene naturali prima e a quelle artificiali nell'ultimo decennio. Risultati questi messi in evidenza dal contributo di F. Scarton contenuto nel presente volume.

1. Delimitazione delle zone SIC e ZPS presenti in laguna di Venezia e siti interessati dalle attività di monitoraggio dell'avifauna.

Materiali e metodi

Area di studio e raccolta dati

Le attività di monitoraggio dell'avifauna hanno preso avvio nell'aprile 2005 e stanno tuttora proseguendo. I rilevamenti hanno interessato dapprima le sole zone SIC/ZPS di Punta Sabbioni, Alberoni, Ca' Roman (d'ora in poi "siti costieri maggiori") ed il Bacan di Sant'Erasmo, poiché rappresentano le aree più prossime ai cantieri e sono dunque potenzialmente più suscettibili di accusarne gli effetti (figura 1). I dati sono stati raccolti da ornitologi professionisti durante tutto l'anno, così da documentare le varie fasi del ciclo biologico dell'avifauna (nidificazione, svernamento e migrazioni), utilizzando diverse tecniche di censimento a seconda delle caratteristiche delle specie da monitorare, del periodo dell'anno e della morfologia dell'area di studio (Bibby *et al.*, 1998; Bibby *et al.*, 2000). Nella fattispecie, nei siti costieri è stato utilizzato il metodo del transetto che consiste nell'effettuare un percorso rettilineo (transetto), a velocità moderata (1,5 km/ora circa), annotando gli individui di tutte le specie osservate o udite durante il tragitto e distinguendo fra quelli osservati entro una fascia di 50 m da ambo i lati del transetto (IN) e quelli esterni a tale fascia (OUT). Tale tecnica risulta particolarmente vantaggiosa in quanto può essere applicata in tutte le stagioni e consente di censire un considerevole numero di specie. Nell'ottica di fornire un campione rappresentativo dei siti indagati, in ciascuna area sono stati individuati tre transetti ortogonali all'arenile ed un quarto transetto parallelo alla li-

nea di spiaggia. Il metodo di censimento per transetti è stato alternato, nel solo periodo riproduttivo (aprile-agosto), con il metodo dei punti di ascolto. Ciò al fine di individuare le specie nidificanti nell'area di studio e descriverne il relativo uso degli habitat presenti. Tale tecnica consente infatti di contattare con maggior facilità anche le specie più difficili da osservare (come nel caso dei passeriformi) attraverso l'ascolto dei canti da un certo numero di stazioni di rilevamento (punti di ascolto) opportunamente scelte. Risulta inoltre particolarmente indicata per ambienti eterogenei e con una fitta copertura vegetazionale in cui la contattabilità è inferiore. Per ciascun sito sono state quindi individuate nove stazioni fisse ed ognuna di esse è stata visitata dai rilevatori per 10 minuti registrando tutti gli individui visti o sentiti e separando i contatti tra interni ed esterni ad un raggio di 100 m (Hutto *et al.*, 1986). Nel caso del Bacan di Sant'Erasmo invece, date le peculiarità ambientali del sito, sono state censite esclusivamente le specie acquatiche tramite conteggio diretto degli individui avvistati; tale tecnica risulta infatti particolarmente indicata per il censimento di anatidi, ardeidi e limicoli, specie che caratterizzano quest'area.
In un primo momento la frequenza di campionamento nei siti costieri maggiori indagati era di una uscita a settimana nel periodo di nidificazione (tra aprile e agosto) con alternanza di tipologia di campionamento (punti di ascolto/transetto) e di una uscita ogni quindici giorni nei mesi restanti (solo transetti). Al Bacan invece sono state pianificate uscite quindicinali durante tutto l'anno, condotte nei giorni di picco massimo di marea (in tali condizioni infatti gli animali possono essere conteggiati con maggior facilità mentre sono raggruppati presso i posatoi o roost di alta marea), cui si aggiungevano quattro uscite serali nel periodo precedente la migrazione autunnale, nei mesi di luglio e agosto, per documentare l'uso dell'area come roost notturno pre-migratorio.
A partire dal quarto anno di monitoraggio (maggio 2008), si è optato per un ampliamento dei target del monitoraggio allo scopo di:

a) documentare eventuali variazioni delle comunità ornitiche in tutta l'area ecologicamente coinvolta dagli interventi alle bocche di porto;
b) contestualizzare le osservazioni relative alle comunità ornitiche insistenti nelle aree prossime ai cantieri e al Bacan di Sant'Erasmo;
c) documentare l'effettivo utilizzo da parte dell'avifauna delle velme e barene artificiali realizzate, nei bacini nord e sud lagunari, nell'ambito dei lavori per la costruzione del MOSE e valutarne il successo o meno.

Le indagini pianificate hanno dunque incluso il monitoraggio dei tre siti costieri di San Nicolò, Santa Maria del Mare e San Felice (d'ora in poi "siti costieri minori") (a San Felice le uscite in campo sono iniziate a maggio 2009), in cui i rilevamenti per punti di ascolto venivano effettuati con cadenza quindicinale. A ciò si è aggiunto il rilevamento di limicoli e sterne in area vasta lagunare, condotto in ambo i bacini lagunari, nord e sud, mediante conteggio diretto da imbarcazione nelle giornate di picco massimo di marea (figura 1). Tale rilevamento, con frequenza mensile, è stato inizialmente condotto nel solo periodo invernale (tra ottobre e marzo), per poi essere esteso a tutto l'anno a partire dal sesto anno di monitoraggio (maggio 2010). Ciò con l'obiettivo di rilevare le variazioni qualitative e quantitative cui sono soggette le comunità ornitiche lagunari nel corso dell'anno. Parallelamente, onde evitare di incrementare ulteriormente lo sforzo di campionamento, di per sé già elevato, è stata ridotta la frequenza di campionamento nelle aree costiere. Pertanto, nei siti di Punta Sabbioni, Alberoni e Ca' Roman si è passati ad attuare rilevamenti quindicinali con sessioni alterne tra transetti e punti di ascolto nel solo periodo compreso tra marzo e agosto, che comprende la fase di nidificazione per un gran numero di specie, dall'arrivo delle prime specie nidificanti fino all'involo dei piccoli, mentre rilievi mensili per transetto nei mesi restanti; a San Nicolò, Santa Maria del Mare e San Felice invece sono stati condotti rilievi mensili per punti di ascolto durante tutto l'anno.

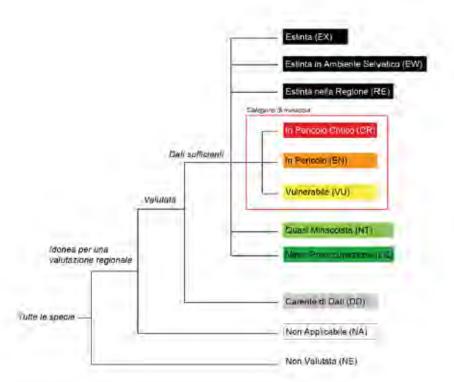
Analisi dei dati

L'andamento di presenza delle comunità ornitiche nei diversi siti è stato analizzato utilizzando metodi statistici sia univariati che multivariati.
Sono stati analizzati:

a) i dati raccolti tra aprile 2005 e dicembre 2015 nei siti costieri di Punta Sabbioni, Alberoni e Ca' Roman con il metodo dei transetti e quelli registrati al Bacan di Sant'Erasmo nello stesso periodo;
b) i dati dei punti di ascolto registrati a San Nicolò, Santa Maria del Mare e San Felice da maggio 2009 a dicembre 2015;
c) i dati rilevati in area vasta lagunare da maggio 2010 a dicembre 2015.

Utilizzando i dati di abbondanza media mensile per specie, sono stati calcolati i seguenti indici:

- ricchezza specifica (S), che rappresenta il numero di specie rilevate in ciascun sito in un determinato periodo dell'anno, indipendentemente dalla loro abbondanza e frequenza di osservazione;
- numero totale di individui (N), ovvero la somma delle abbondanze delle singole specie campionate in ciascun sito in un determinato periodo dell'anno;
- indice di equiripartizione di Pielou (J) (Pielou, 1966), che valuta il grado di uniformità nella distribuzione degli individui tra le diverse specie ed è massimo quando tutte le specie sono presenti con la stessa abbondanza mentre ha valori bassi quando c'è una sola specie abbondante e numerose specie rare;
- indice di diversità di Shannon (H) (Shannon e Weaver, 1963), che esprime sia la ricchezza in specie (numero di specie entro la comunità) sia l'equitabilità della comunità ed assume valori crescenti all'aumentare del numero di specie e della loro uniformità all'interno della comunità mentre tende a zero quanto più la ripartizione è sbilanciata a favore di una sola specie.

Le specie rilevate sono state suddivise in classi di rischio di estinzione secondo la Lista rossa europea degli uccelli (EU 27 Red List Category, BirdLife International 2015) che segue ed accorpa i criteri e le categorie della Lista rossa IUCN (IUCN 2012) per la definizione dello status di ciascuna specie. Tale lista classifica le specie in otto categorie di minaccia sulla base di valutazioni quantitative relative al trend demografico, alle dimensioni e struttura della popolazione ed alla distribuzione delle specie. Le classi sono ordinate secondo il criterio del rischio di estinzione crescente: dalla categoria "A minor preoccupazione (LC, Least Concern)", adottata per le specie che non rischiano l'estinzione nel breve o medio termine, a quella "Estinta (EX, Extinct)", applicata alle specie per le quali si ha la definitiva certezza che anche l'ultimo individuo sia deceduto (figura 2).
Per ciascun sito è stata calcolata la percentuale di specie minacciate e la percentuale di specie incluse nell'allegato I della Direttiva Uccelli (2009/147/CE) sul totale rilevato nel corso del monitoraggio, con l'obiettivo di valutare le aree di studio da un punto di vista conservazionistico. Inoltre, per ogni categoria di minaccia IUCN (NT, VU, EN, CR) e per le specie incluse nell'allegato I della Direttiva Uccelli è stato calcolato il rapporto tra il numero di individui e il numero di specie contattate per mese (Indice N/S) ed è stata utilizzata la media annuale di tale rapporto per descrivere l'andamento temporale delle singole classi.
Data l'elevata eterogeneità ambientale che caratterizza i siti costieri, costituiti da ambienti dunali e retrodunali, fasce boscate e specchi d'acqua salmastra, le specie qui rilevate sono state altresì suddivise in base alle loro abitudini alimentari, che ne rispecchiano

2. Categorie di rischio di estinzione della Lista rossa IUCN (da BirdLife International, 2015).

le esigenze ecologiche. Sono state così definite quattro categorie trofiche: carnivori, che comprende i rapaci (diurni e notturni) e specie ittiofaghe e che si nutrono di molluschi e di altri invertebrati marini, come ad esempio i limicoli; granivori, tra cui vi sono i columbidi oltre a diverse specie di passeri e fringillidi; insettivori, che raggruppa le specie la cui dieta è costituita in maniera prevalente da insetti tra cui troviamo silvidi, picchi, rondini e rondoni; onnivori, che include le specie che si cibano sia di materiale vegetale (ad esempio semi, grano e frutta) che di quello animale (ad esempio insetti, pesci e crostacei) come gli anatidi e alcune specie sinantropiche come le cornacchie e i gabbiani reali. Per ciascuno dei siti costieri è stata quindi calcolata la percentuale di presenza delle singole classi trofiche come misura indiretta della struttura e delle tipologie di habitat presenti ed ed è stata utilizzata la numerosità media annuale di tali classi per descriverne l'andamento temporale.
I dati ottenuti mediante punti di ascolto registrati nei siti costieri maggiori e minori tra marzo e agosto sono stati utilizzati per calcolare un Indice Puntiforme di Abbondanza (IPA). A tale scopo è stato attribuito un punteggio ad ogni contatto a seconda dello status degli individui contattati (p= 1 specie con evidenti segnali di nidificazione; p= 0.5 specie che non presenta evidenti segnali di nidificazione) e l'indice IPA è stato calcolato suddividendo il totale dei contatti rilevati in un certo sito in un determinato periodo dell'anno per il numero di punti di ascolto effettuati. Tale indice fornisce una stima dell'abbondanza della comunità ornitica nel periodo riproduttivo, pesata sulle specie nidificanti nell'area. L'andamento dell'indice IPA negli anni di monitoraggio è stato analizzato mediante una esplorazione grafica dei dati utilizzando il metodo dei boxplot.
Relativamente al Bacan di Sant'Erasmo, è stato inoltre effettuato un approfondimento su tre specie target: fratino, *Charadrius alexandrinus*, pivieressa, *Pluvialis squatarola*, e piovanello pancianera, *Calidris alpina*. Tali specie sono state selezionate in quanto:

a) specialiste della fascia tidale che caratterizza l'area di studio;
b) indicatrici della comunità di limicoli;
c) rilevate nel sito sin dall'inizio del monitoraggio e dunque particolarmente indicate per rilevare variazioni sul lungo periodo.

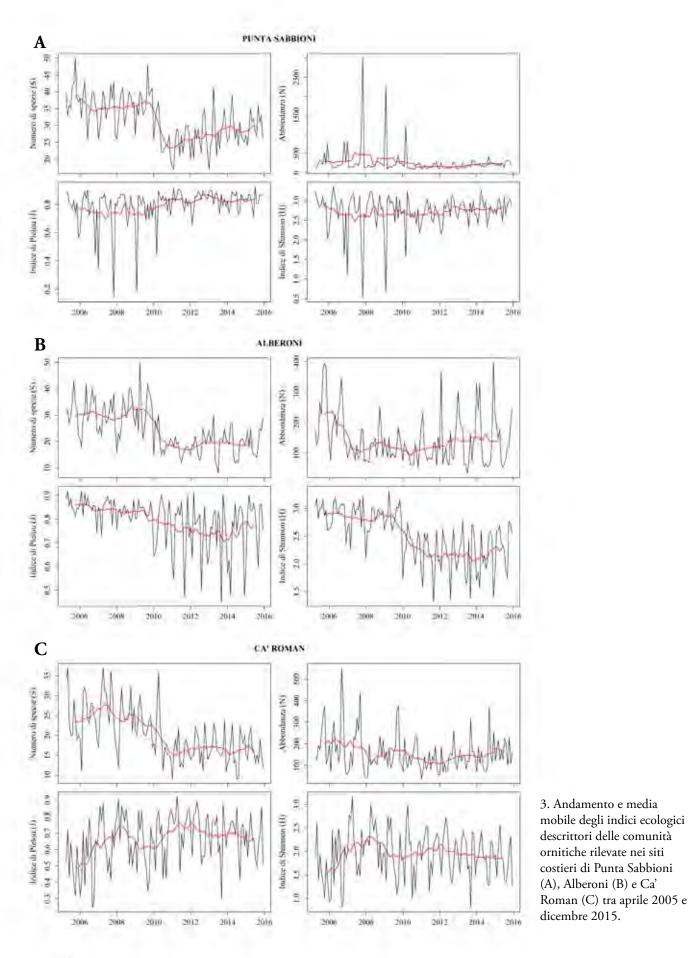
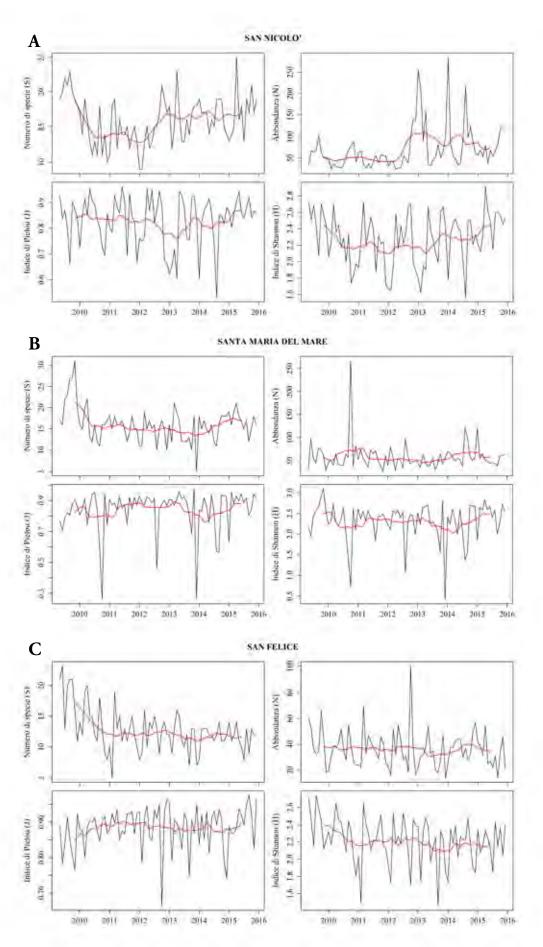
Per ciascuna specie è stato calcolato un indice di abbondanza media mensile, non con-

siderando ai fini delle analisi i dati relativi alle uscite serali. Tale parametro è stato utilizzato per descrivere l'andamento delle specie target nell'area del Bacan nel corso degli anni.
Le analisi multivariate hanno previsto l'individuazione della tendenza degli indici ecologici e matematici sopra descritti utilizzando il metodo della media mobile, che consente di catturare il trend dei dati in modo fedele senza perdere di vista le variazioni che si sono succedute nel tempo. Inoltre, è stata valutata la significatività delle variazioni osservate nel corso del monitoraggio utilizzando test statistici parametrici o non parametrici a seconda della distribuzione dei dati.
Per contestualizzare le osservazioni fatte al Bacan di Sant'Erasmo, l'andamento delle specie target rilevato in quest'area è stato confrontato con quello da esse evidenziato nell'intero bacino lagunare mediante una ispezione grafica dei dati. Infine, a verifica della attendibilità dei risultati emersi dal monitoraggio, è stato utilizzato il test di correlazione di Pearson per confrontare i dati di presenza media di limicoli e sterne (calcolati sul periodo novembre-gennaio), rilevati in laguna tra il 2008 e il 2015, con i dati dei censimenti degli uccelli acquatici svernanti (IWC, International Waterfowl Census), qui registrati nello stesso periodo. I censimenti IWC vengono svolti dal 1993 in area vasta, nel mese di gennaio, con lo scopo di ottenere una stima verosimile della popolazione delle specie svernanti in laguna.
I dati sono stati analizzati utilizzando i software PRIMER v6 (Clarke e Gorley, 2006) e R versione 3.0.2 (R Core Team, 2013). Per tutte le analisi la significatività statistica è stata posta a $P<0.05$.

Risultati

Andamento degli indici ecologici nei siti monitorati

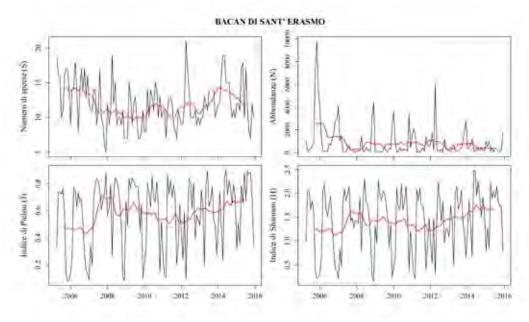
Alberoni, Ca' Roman e Punta Sabbioni

Nei tre siti costieri maggiori l'indice di ricchezza specifica S è variato significativamente nel tempo (in tutti i casi $P<0.05$). Ad Alberoni e Ca' Roman il numero di specie è diminuito nel 2010 e si è poi stabilizzato su valori inferiori rispetto ai primi anni di monitoraggio, mentre a Punta Sabbioni il trend è ritornato positivo a partire dal 2011. L'indice di abbondanza N è variato significativamente a Punta Sabbioni (Friedman test, χ^2_{10}=37.067, P=5.509e^{-05}), dove si osserva un calo nel 2010 ed un assestamento della numerosità su un valore medio mensile di 200 individui nel periodo 2011-2015 e ad Alberoni (Friedman test, χ^2_{10}=35.627, P=9.755e^{-05}) dove si evidenzia una netta contrazione nel 2007 cui segue un trend positivo a partire dal 2010. A Ca' Roman, invece, le variazioni dell'indice sono risultate non significative (Friedman test, χ^2_{10}=17.3862, P=0.066) (figura 3).
Sono state inoltre rilevate delle variazioni temporali significative nell'indice di equitabilità J'. A partire dal 2010 è stato evidenziato un andamento positivo dell'indice a Punta Sabbioni e Ca' Roman, ad indicare un aumento della equiripartizione della comunità ornitica in questi siti, mentre ad Alberoni si è osservato un evidente calo (figura 3).
Ancora, l'indice di Shannon H è variato significativamente ad Alberoni (Friedman test, χ^2_{10}=66.2828, P=2.302e^{-10}) con una diminuzione a partire dal 2010 che indica come la comunità tenda ad essere dominata da poche specie. Diversa la situazione rilevata negli altri due siti in cui le variazioni dell'indice sono statisticamente non significative (Punta Sabbioni: Friedman test, χ^2_{10}= 8.9899, P=0.533; Ca' Roman: Welch test, $F_{10,46}$=1.542, P=0.155) indicando come le specie siano variate nel tempo nella stessa misura (figura 3).

3. Andamento e media mobile degli indici ecologici descrittori delle comunità ornitiche rilevate nei siti costieri di Punta Sabbioni (A), Alberoni (B) e Ca' Roman (C) tra aprile 2005 e dicembre 2015.

4. Andamento e media mobile degli indici ecologici descrittori delle comunità ornitiche rilevate nei siti costieri di San Nicolò (A), Santa Maria del Mare (B) e San Felice (C) tra maggio 2009 e dicembre 2015.

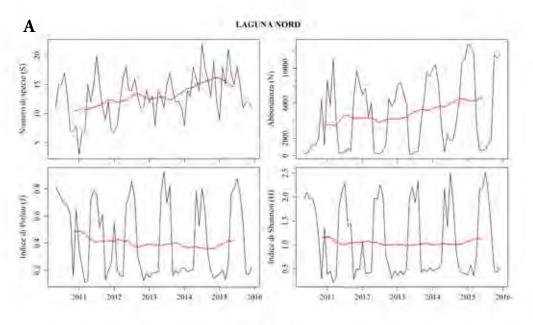
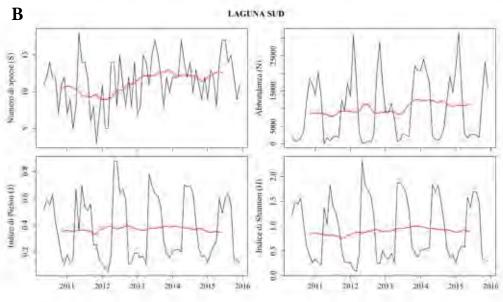
San Nicolò, Santa Maria del Mare, San Felice

Variazioni temporali significative dell'indice di ricchezza specifica S sono state osservate anche nei tre siti costieri minori (in tutti i casi $P<0.05$). A San Nicolò è stato evidenziato un calo del numero di specie fino al 2012 cui è seguito un aumento dei valori dell'indice; a Santa Maria del Mare il calo della ricchezza specifica si è verificato fino a dicembre 2013 con conseguente ripresa nel 2014 e 2015, mentre a San Felice è stato rilevato un trend negativo tra il 2009 e il 2015 (figura 4).
L'indice di abbondanza N è variato significativamente soltanto a San Nicolò (Friedman test, $\chi^2_6=17.702$, $P=0.007$), dove si osserva un aumento della numerosità nel 2013 ed un successivo assestamento dell'indice su valori visibilmente più elevati rispetto ai primi anni di monitoraggio. Negli altri due siti invece le fluttuazioni inter-annuali dell'indice sono risultate statisticamente non significative, ad indicare una certa stabilità della numerosità della comunità ornitica nel corso del monitoraggio (figura 4).
L'indice di equiripartizione J non ha evidenziato variazioni temporali significative, ma è fluttuato entro un range abbastanza ristretto in tutti i siti.
L'indice di Shannon H ha mostrato differenze significative soltanto a San Nicolò (Welch test, $F_{6,31}=2.934$, $P=0.021$), con un andamento negativo fino al 2013 ed una successiva crescita fino al 2015. Ciò indica una maggior complessità del popolamento ornitico in questo sito negli ultimi anni. A San Felice, invece, sebbene le variazioni non siano risultate significative, si è osservato un calo dell'indice di diversità H tra il 2009 e il 2015, evidenziando una regressione del grado di maturità dell'ecosistema (figura 4).

Bacan di Sant'Erasmo

Al Bacan di Sant'Erasmo sono state evidenziate delle variazioni temporali significative relativamente a tutti gli indici ecologici considerati (Friedman test, Ricchezza specifica: $\chi^2_{10}=25.673$, $P=0.004$,; Abbondanza totale: $\chi^2_{10}=20.808$, $P=0.022$; Indice di Pielou: $\chi^2_{10}=23.293$, $P=0.009$; Indice di Shannon: $\chi^2_{10}=22.444$, $P=0.013$). Per quanto riguarda l'indice di ricchezza specifica S è stato osservato un calo del numero di specie tra il 2008 e il 2012 con successiva ripresa fino al 2015. L'indice di abbondanza N mostra una netta contrazione nel 2007 cui segue un assestamento della numerosità su un plafond inferiore rispetto agli inizi del monitoraggio, mentre l'indice di Pielou e l'indice di Shannon aumentano visibilmente a partire dal 2008 ad indicare una maggiore uniformità ed una crescita della complessità della comunità ornitica (figura 5).

5. Andamento e media mobile degli indici ecologici descrittori della comunità ornitica rilevata al Bacan di Sant'Erasmo tra aprile 2005 e dicembre 2015.

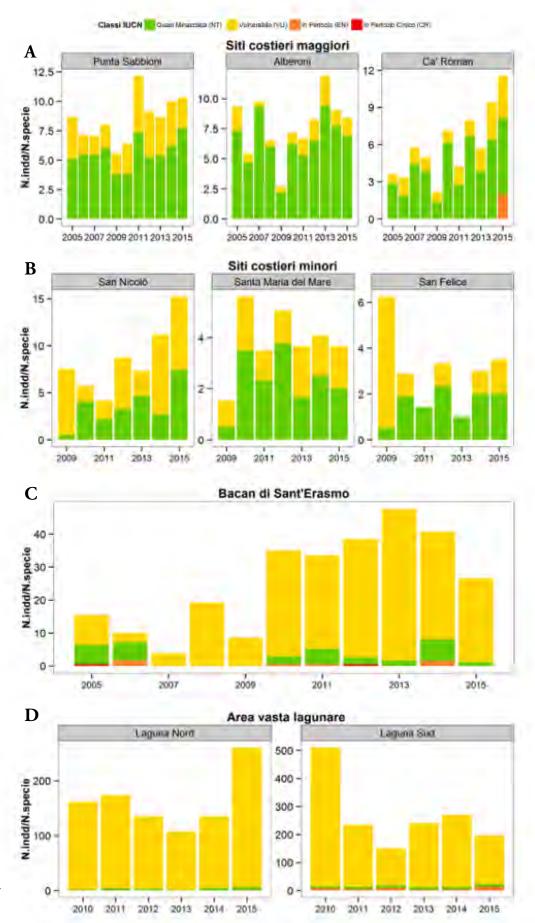
Area vasta lagunare

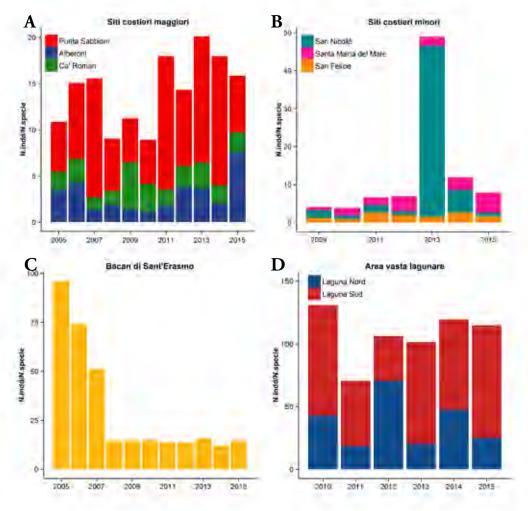
L'analisi dell'andamento degli indici ecologici nei due bacini lagunari nord e sud ha evidenziato delle variazioni temporali significative dell' indice di ricchezza specifica S in entrambi i casi (ANOVA test, Laguna Nord: $F_{1,66}$=8.938, P=0.003; Laguna Sud: $F_{1,66}$=5.457, P=0.022), con un evidente trend positivo tra il 2010 e il 2015. Si osserva inoltre un considerevole aumento dei contingenti; ciò nonostante, le variazioni temporali dell'indice di abbondanza risultano statisticamente significative nel solo bacino settentrionale (Friedman test, χ^2_5=20.571, P=0.0009). In nessun caso, l'indice di equiripartizione J ha evidenziato delle variazioni significative negli anni, quanto piuttosto delle oscillazioni entro un range abbastanza ristretto. L'indice di Shannon H invece ha mostrato delle differenze temporali significative nel bacino meridionale (Friedman test, χ^2_5=12.571, P=0.027), evidenziando un trend in aumento. Ciò indica come la laguna sud tenda ad essere caratterizzata da una comunità ornitica equiripartita e sufficientemente complessa. Il trend dell'indice di Shannon in laguna nord risulta invece stabile indicando come, in quest'area, le specie siano variate nel tempo nella stessa misura (figura 6).

6. Andamento e media mobile degli indici ecologici descrittori delle comunità ornitiche (uccelli acquatici) rilevate nel bacino lagunare settentrionale (A) e meridionale (B) tra maggio 2010 e dicembre 2015.

Valutazioni conservazionistiche

Circa il 90% delle specie contattate nei siti costieri è risultato “A Minor Preoccupazione” (LC), il 3% “Quasi Minacciato” (NT) e il 6% minacciato, in quanto appartenente alla categoria “Vulnerabile” (VU) e, nel caso di una sola specie, alla categoria “In pericolo” (EN), rappresentata dal voltapietre, *Arenaria interpres*, osservato a Ca’ Roman nel mese di agosto 2015. Per quanto concerne le specie incluse nell’allegato I della Direttiva Uccelli, nel corso del monitoraggio sono state rilevate 20 specie a Punta Sabbioni e Ca’ Roman e 14 specie ad Alberoni che rappresentano rispettivamente il 15%, 17% e 12% del totale. Nei siti costieri minori sono state invece rilevate 9 specie a San Nicolò, 11 specie a Santa Maria del Mare e 6 a San Felice costituenti rispettivamente il 9,5%, 11,6% e 8,7 dell’intera comunità (tabella 1).
Più rilevante sotto il profilo conservazionistico risulta il Bacan di Sant’Erasmo in cui il 20% delle specie contattate (60) è risultato minacciato (con l’1,6% “In Pericolo critico” (CR), il 5% EN e il 13% VU), il 7% NT ed il restante 73% LC. Inoltre, il 33,3% (20 specie) delle specie registrate in quest’area sono incluse nell’Allegato I della Direttiva Uccelli (tabella 1). La presenza di un numero così elevato di specie di interesse conservazionistico in un’area di estensione limitata come quella del Bacan di Sant’Erasmo (pari a 406 Ha) rende questo sito di particolare importanza e la salvaguardia del suo habitat indispensabile per la tutela e la conservazione di tali specie.
Una situazione analoga è stata riscontrata in laguna di Venezia, con il 19% delle specie rilevate (58 specie) in stato di minaccia, di cui il 2% circa CR, il 5% EN e il 12% VU. L’8,6% delle specie è risultato NT e il 72,4% LC. Inoltre, anche in questo caso, è stata rilevata la presenza di 19 specie (costituenti il 32,7% dell’intera comunità) incluse nell’allegato I della Direttiva Uccelli (tabella 1).
L’andamento dell’indice N/S calcolato per la categoria NT è risultato positivo in tutti i siti costieri monitorati evidenziando un aumento della numerosità di individui appartenenti a tale categoria a parità di numero di specie. Relativamente alla categoria VU, l’andamento è positivo in tutti i casi ad eccezione di San Felice, in cui è stato registrato un trend negativo ad indicare una contrazione del numero di individui appartenenti a tale classe, e di Santa Maria del Mare che mostra un trend stabile, indicando come il rapporto tra numerosità e numero di specie non sia variato negli anni. La classe di minaccia CR è esclusa da tale descrizione in quanto nel corso del monitoraggio è stata rilevata una sola specie appartenente a tale categoria nel sito di Ca’ Roman (figura 7A e B).
Al Bacan di Sant’ Erasmo è stato rilevato un trend negativo dell’indice N/S per quanto concerne la categoria NT, indicando una riduzione della numerosità a parità di numero

	N° totale specie	Categorie IUCN					% Specie minacciate	%NT	% LC	Direttiva Uccelli Allegato I	
		CR	EN	VU	NT	LC				N° specie	% specie sul totale
Punta Sabbioni	135			9	4	122	6,67	2,96	90,37	20	14,81
Alberoni	118			6	4	108	5,08	3,39	91,53	14	11,86
Ca’ Roman	119		1	9	4	105	8,40	3,36	88,24	20	16,81
San Nicolò	95			5	3	87	5,26	3,16	91,58	9	9,47
Santa Maria del Mare	95			8	3	84	8,42	3,16	88,42	11	11,58
San Felice	69			3	2	64	4,35	2,90	92,75	6	8,70
Bacan di Sant’Erasmo	60	1	3	8	4	44	20,00	6,67	73,33	20	33,33
Area vasta lagunare	58	1	3	7	5	42	18,97	8,62	72,41	19	32,76

Tabella 1. Totale delle specie rilevate, percentuale di specie minacciate secondo la Lista rossa europea degli uccelli (EU 27 Red List Category) e di specie incluse nella Direttiva Uccelli (2009/147/CE) per ciascun sito monitorato.

7. Media annuale del rapporto tra numero di individui e numero di specie (Indice N/S) calcolato per le specie incluse nelle categorie di minaccia IUCN rilevate nei siti costieri maggiori tra il 2005 e il 2015 (A), nei siti costieri minori nel periodo 2009-2015 (B), al Bacan di Sant'Erasmo nel periodo 2005-2015 (C) e nei due bacini lagunari nord e sud tra il 2010 e il 2015 (D).

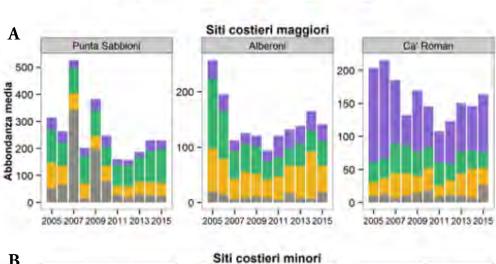
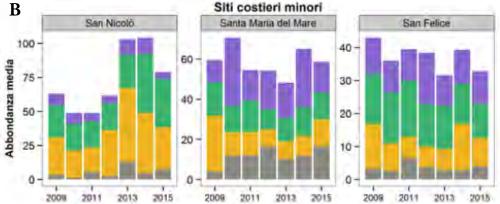
di specie. Per la classe VU si osserva invece un sostanziale aumento dell'indice a partire dal 2010 evidenziando un aumento del numero di individui appartenenti a tale categoria (a tale innalzamento dell'indice contribuisce in maniera sostanziale l'aumento dei contingenti di chiurlo maggiore, *Numenius arquata*, registrato nell'area negli ultimi sei anni di monitoraggio). Le altre due classi di minaccia (EN e CR) sono state rilevate solo sporadicamente nel sito e non è quindi possibile descriverne l'andamento (figura 7C).
In laguna nord è stato rilevato un trend positivo dell'indice N/S relativamente alle classi NT e VU evidenziando un aumento dei contingenti appartenenti a tali categorie a parità di numero di specie. Sporadici gli avvistamenti di specie appartenenti alla classe EN. Per quanto concerne la laguna sud l'andamento dell'indice per la categoria NT è risultato pressoché stabile ad indicare come numerosità e numero di specie siano variate negli anni in maniera proporzionale. Si rileva poi un trend negativo per la classe VU, segno di un sensibile aumento del numero di specie appartenenti a tale classe, mentre nel caso della classe EN, il trend è positivo ad indicare un aumento della numerosità a parità di numero di specie. La categoria di minaccia CR è esclusa da tale descrizione in quanto nel corso del monitoraggio è stata rilevata un'unica specie appartenente a tale classe nel solo bacino meridionale (figura 7D).
L'indice N/S calcolato per le specie incluse nell'allegato I della Direttiva Uccelli rilevate nei siti costieri maggiori nel corso del monitoraggio ha mostrato un andamento positivo nel caso di Punta Sabbioni e Alberoni indicando un impoverimento del numero di specie prioritarie ed un parallelo aumento della numerosità di individui per specie. A Ca' Roman invece l'andamento dell'indice è risultato stabile, indicando come numerosità e

8. Media annuale del rapporto tra numero di individui e numero di specie (Indice N/S) calcolato per le specie incluse in Allegato I della Direttiva Uccelli rilevate nei siti costieri maggiori tra il 2005 e il 2015 (A), nei siti costieri minori nel periodo 2009-2015 (B), al Bacan di Sant'Erasmo nel periodo 2005-2015 (C) e nei due bacini lagunari nord e sud tra il 2010 e il 2015 (D).

numero di specie siano variati in maniera proporzionale negli anni (entrambi gli indici N ed S hanno subìto un leggero calo nel corso del monitoraggio) (figura 8A).
Nei siti costieri minori, si osserva un trend positivo dell'indice N/S in tutti i casi. Tuttavia, mentre a San Nicolò e Santa Maria del Mare tale aumento è determinato da una crescita della numerosità di individui a parità di numero di specie, a San Felice si rileva una considerevole riduzione del numero di specie prioritarie. Ciò che fa innalzare sensibilmente l'indice a San Nicolò è il rilevamento di un cospicuo numero di gabbiani corallini, *Larus melanocephalus*, (N=85) nel mese di aprile 2013 (figura 8B).
Diversa la situazione rilevata al Bacan di Sant'Erasmo, in cui si osserva un trend negativo dell'indice, con una netta contrazione tra il 2007 e il 2008. Tale andamento è causato da una riduzione della numerosità degli uccelli mentre il numero di specie incluse in Allegato I è rimasto pressoché invariato negli anni. Ciò indica una tendenza alla equidistribuzione degli individui fra le varie specie (figura 8C).
Per quanto concerne l'area vasta lagunare, nel bacino settentrionale l'andamento dell'indice N/S risulta in leggero calo indicando un aumento del numero di specie prioritarie ed una maggiore equidistribuzione degli individui fra di esse. In laguna sud invece, fatto salvo per la contrazione registrata nel 2011 e 2012 causata da una riduzione del numero di individui rilevati, l'andamento risulta tendenzialmente stabile ad indicare un equilibrio nel rapporto tra numerosità e numero di specie di interesse conservazionistico (gli indici N ed S sono variati in maniera proporzionale negli anni) (figura 8D).

Caratterizzazione trofica delle comunità costiere

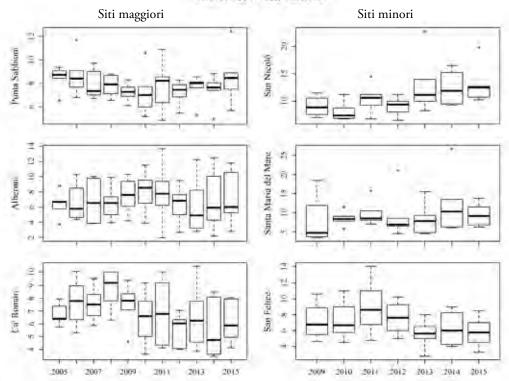
La caratterizzazione trofica delle comunità costiere ha evidenziato a Punta Sabbioni una prevalenza di specie predatrici insettivore e carnivore, costituenti rispettivamente il 37% e il 31% della comunità ornitica. Il sito degli Alberoni è risultato caratterizzato dai gruppi insettivori e granivori per il 73%, mentre a Ca' Roman prevalgono le specie onnivore per il 53%. Nel caso dei siti minori, si rileva a San Nicolò una predominanza di specie insettivore e granivore, pari al 76% della comunità; a Santa Maria del Mare una leggera prevalenza di specie onnivore (33%), mentre i restanti gruppi risultano equamente ripartiti. A San Felice infine si osserva una dominanza delle specie insettivore (37%) e onnivore (30%) (tabella 2).
Osservando l'andamento delle singole classi trofiche si rileva a Punta Sabbioni un calo delle specie carnivore tra il 2009 e il 2010 ed una stabilizzazione su un plafond inferiore rispetto ai primi anni di monitoraggio tra il 2011 e il 2015. Diminuiscono anche le specie granivore e onnivore mentre le specie insettivore mostrano un trend stabile negli anni. Diversa la situazione nel sito di Alberoni in cui si rileva un trend pressoché stabile delle classi dei carnivori, granivori e onnivori (nel caso dei granivori si nota una contrazione nel periodo centrale del monitoraggio, tra il 2007 e il 2010 ed una successiva ripresa negli ultimi cinque anni fino a toccare valori simili a quelli registrati nei primi anni di studio), mentre gli insettivori evidenziano uno spiccato trend negativo. Nel caso di Ca' Roman invece si osserva una lieve crescita del gruppo dei carnivori, un andamento

	Percentuale di presenza dei gruppi (%)			
	Carnivori	**Granivori**	**Insettivori**	**Onnivori**
Punta Sabbioni	30,92	20,48	36,57	12,03
Alberoni	7,58	36,62	36,23	19,57
Ca' Roman	7,89	18,48	20,82	52,81
San Nicolò	9,91	37,71	37,72	14,66
Santa Maria del Mare	21,56	20,82	24,15	33,48
San Felice	8,92	24,31	37,06	29,71

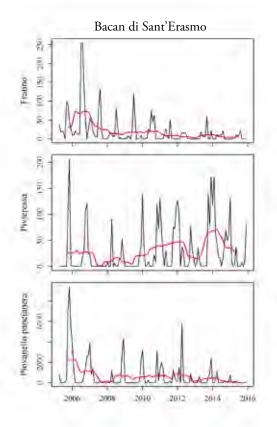
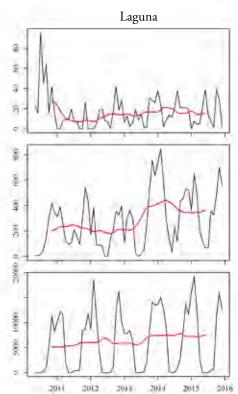
Tabella 2. Percentuale di presenza delle singole classi trofiche rilevate nei siti costieri maggiori e minori.

9. Classificazione delle specie per categoria trofica. Abbondanza media annuale dei gruppi trofici rilevati nei siti costieri maggiori nel periodo 2005-2015 (A) e nei siti costieri minori nel periodo 2009-2015 (B).

pressoché stabile di granivori e insettivori mentre gli onnivori diminuiscono in maniera sostanziale (figura 9A).
Relativamente ai siti minori, a San Nicolò si osserva un trend positivo di tutte le classi trofiche, specialmente di quella insettivora e granivora, ad eccezione del gruppo degli onnivori che mostra un leggero calo. A Santa Maria del Mare aumentano le specie carnivore e onnivore, gli insettivori mostrano un andamento stabile negli anni, mentre la classe dei granivori evidenzia un drastico calo nel 2010 cui tuttavia segue una stabilizzazione delle presenze negli anni successivi. A San Felice infine si rileva un trend negativo degli insettivori mentre le classi trofiche restanti risultano stabili (figura 9B).

Andamento dell'Indice Puntiforme di Abbondanza IPA (periodo riproduttivo) nei siti costieri

Il grafico in figura 10 mostra l'andamento dell'indice IPA calcolato per i siti costieri maggiori e minori. A Punta Sabbioni si osserva un trend negativo dell'indice fino al 2010 ed una successiva ripresa a partire dal 2011, ad Alberoni un trend positivo fino al 2010 con un successivo calo sino al 2013 ed un lieve aumento negli ultimi due anni di monitoraggio, mentre a Ca' Roman uno spiccato trend positivo fino al 2008 cui ne segue uno negativo sino al 2015. Per quanto concerne i siti costieri minori invece il trend dell'indice IPA risulta positivo a San Nicolò e Santa Maria del Mare, mentre è negativo a San Felice a partire dal 2012 ad indicare una graduale diminuzione della popolazione nidificante in quest'area negli ultimi anni di monitoraggio.

10. Boxplot dell'indice IPA nei sei siti costieri. L'indice si riferisce al solo periodo riproduttivo marzo-agosto ed è stato calcolato per il periodo 2005-2015 nei siti maggiori (a sinistra) e per il periodo 2009-2015 nei siti minori (a destra).

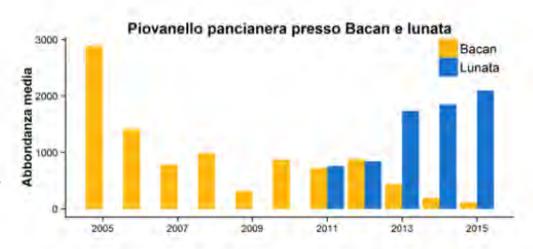
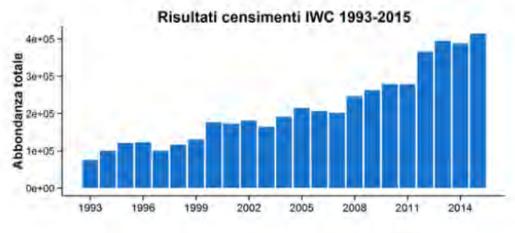
Andamento delle specie target al Bacan di Sant'Erasmo e in area vasta lagunare

L'analisi dell'andamento della abbondanza delle tre specie target al Bacan di Sant'Erasmo ha evidenziato un trend negativo di piovanello pancianera e di fratino ed uno positivo nel caso di pivieressa. Ciò nonostante, le variazioni temporali dell'indice sono risultate statisticamente significative nel solo caso di fratino e pivieressa (Friedman test, fratino: χ^2_{10}=32.137, P=0.0003; pivieressa: χ^2_{10}=33.153, P=0.0002, in entrambi i casi P<0.05), indicando come tali specie abbiano subìto dei cambiamenti sostanziali nel numero di effettivi registrati in quest'area nel corso del monitoraggio. Nel caso di piovanello pancianera invece le variazioni dell'indice sono risultate non significative (Friedman test, χ^2_{10}=14.707, P=0.143). Si rileva infatti una contrazione nel 2007 cui segue una stabilizzazione delle abbondanze su un plafond inferiore rispetto a quelle rilevate nei primi anni di monitoraggio, verso cui i dati non mostrano alcun segno di riavvicinamento (figura 11). Il declino e successivo assestamento osservato in questo sito è stato causato da una massiva traslocazione dei contingenti di piovanello pancianera dall'arenile del Bacan verso altre aree del complesso lagunare, prima fra tutte la lunata della bocca di porto di Lido, regolarmente utilizzata dalla specie come posatoio di alta marea dall'ottobre 2011 (figura 12).
L'andamento delle specie target in area vasta lagunare è risultato differente da quello rilevato al Bacan di Sant'Erasmo per quanto concerne il piovanello pancianera. In laguna infatti la popolazione di tale specie risulta in crescita, raggiungendo nel mese di febbraio 2015 una numerosità media per bacino lagunare di 19.235 individui, picco massimo finora registrato. Il fratino ha evidenziato un calo nel 2011 cui segue una leggera ripresa ed un assestamento a partire dal 2013, mentre la pivieressa presenta un trend positivo anche in area vasta (figura 11).
Infine, è stata rilevata una correlazione statisticamente significativa tra i dati di moni-

11. Andamento e media mobile della abbondanza media mensile di fratino, *Charadrius alexandrinus*, pivieressa, *Pluvialis squatarola* e piovanello pancianera, *Calidris alpina*, registrata al Bacan di Sant'Erasmo tra aprile 2005 e dicembre 2015 (a sinistra) e in area vasta lagunare tra maggio 2010 e dicembre 2015 (a destra).

toraggio e i dati IWC relativamente alla presenza di limicoli e sterne svernanti in laguna (Pearson test, P=0.008, r=0.845) (figura 13). Entrambi i rilevamenti hanno infatti evidenziato un trend positivo delle comunità ornitiche lagunari (cfr. figura 14 e figura 6). Tale risultato evidenzia la generale situazione di positività che si rileva all'interno del complesso lagunare.

Discussione

I risultati ottenuti hanno permesso di tracciare l'andamento delle comunità ornitiche lagunari in un periodo di elevato impatto antropico, caratterizzato da una diffusa e persistente presenza umana, associata a lavorazioni rumorose spesso al di sopra di 60 dB(A), dunque perturbative per l'avifauna. L'evoluzione temporale delle comunità, puntualmente seguita durante tutte le fasi del ciclo biologico dell'avifauna, ha mostrato tuttavia andamenti disomogenei con effetti differenti nei vari siti monitorati.
Nei siti costieri maggiori, monitorati sin dal 2005 (Punta Sabbioni, Alberoni e Ca' Roman), è stata osservata una generale riduzione del numero di specie nell'anno 2010 (figura 3). In seguito, a partire dal 2011, è stato evidenziato, a Punta Sabbioni e Ca' Roman, un aumento della equidistribuzione delle specie che indica la tendenza verso un ecosistema più stabile e maturo. Ad Alberoni, invece, è seguito un incremento della numerosità ed un drastico calo sia dell'equitabilità (J') sia della diversità del popolamento (H) ad indicare una comunità sottoposta ad un forte stress, caratterizzata da un basso numero di specie e con una forte gerarchia di abbondanza (ovvero la maggior parte delle specie sono fortemente dominanti e poche altre sono scarsamente rappresentate).
I risultati del monitoraggio hanno evidenziato come, anche nei siti costieri minori di San Nicolò, Santa Maria del Mare e San Felice si sia verificata, nel 2010, una contrazione del numero di specie (figura 4). A San Felice, in particolare, si osserva, dal 2009

12. Abbondanza media di piovanello pancianera, *Calidris alpina*, registrata al Bacan di Sant'Erasmo e presso la lunata della bocca di porto di Lido. Si nota uno spostamento degli individui verso la lunata a partire dal 2011.

13. Correlazione esistente tra i dati rilevati nell'ambito del Piano di Monitoraggio e dei censimenti IWC nel periodo di svernamento 2008-2015.

14. Abbondanza di uccelli acquatici svernanti in laguna di Venezia tra il 1993 e il 2015 (da Basso e Bon, 2015 e precedenti).

al 2015, un andamento negativo sia dell'indice di ricchezza specifica S sia dell'indice di diversità H a conferma che l'ecosistema è caratterizzato da un basso grado di biodiversità, con poche specie dominanti ed altre scarsamente rappresentate; potrebbe trattarsi di un ecosistema giovane o di un ecosistema sottoposto ad una condizione di stress. A San Nicolò invece l'indice di diversità del popolamento H aumenta, evidenziando una progressiva maggior complessità del popolamento ornitico.

Presso il Bacan di Sant'Erasmo la numerosità è diminuita nettamente nel 2007 e successivamente l'indice di abbondanza si è stabilizzato su valori inferiori rispetto ai primi anni di monitoraggio. A ciò si contrappone tuttavia un aumento dell'uniformità e della diversità H del popolamento a partire dal 2008 ad indicare una crescita della comples-

sità della comunità ornitica, confermata dall'aumento del numero di specie a partire dal 2012 (figura 5). Dall'insieme delle informazioni raccolte si può ipotizzare che il Bacan di Sant'Erasmo stia evolvendo verso un ecosistema più maturo in cui la frequenza delle specie è ben distribuita, contrariamente a quanto rilevato nei primi anni di monitoraggio in cui la comunità era dominata da poche specie come, ad esempio, il piovanello pancianera.
È dunque possibile affermare che le comunità ornitiche dei siti costieri e del Bacan di Sant'Erasmo siano state influenzate dalle lavorazioni per la costruzione del MOSE, come è del resto deducibile dal calo del numero di specie osservato, rispettivamente, nel 2010 e nel 2007. Tali contrazioni dei parametri ecologici descrittori delle comunità ornitiche sono imputabili alla rumorosità dei cantieri, in particolare a quelle attività con emissioni rumorose superiori ai 70 dB(A), come la battitura pali o le opere di trivellazione; attività queste che sono state concentrate nei primi anni di monitoraggio, periodo concomitante con i maggiori cambiamenti registrati nello stato delle comunità ornitiche. Tale tesi è sostenuta dal recente Studio B.6.72 B/11, in cui è stata verificata, per i siti costieri di Alberoni e Ca' Roman, l'esistenza di una correlazione significativamente negativa tra livello di rumore in dB(A) e indici ecologici di presenza ornitica.
Pur sottolineando tali negative interferenze, negli ultimi anni si sta assistendo, in tutti i siti monitorati, ad una ripresa o ad una stabilizzazione dei parametri descrittori delle comunità ornitiche, riavvicinandosi a quanto ci si possa attendere dalla specificità dei siti oggetto di studio. È noto infatti che gli uccelli possono differentemente controbattere condizioni di stress e di disturbo (Rheindt, 2003; Walker *et al.*, 2006; Gill, 2007) tornando rapidamente alle loro normali attività e pattern comportamentali (Rees *et al.*, 2005; Baudains e Lloyd, 2007). I siti monitorati non hanno evidentemente perso la loro attrattività nei confronti dell'avifauna che in essi trova ancora habitat almeno parzialmente idonei per la sosta, l'alimentazione e la nidificazione.
Risultati del tutto positivi si sono al contrario ottenuti monitorando le comunità dell'area vasta lagunare, allorchè ci si allontani dai siti di cantiere. Sia nel bacino settentrionale sia in quello meridionale si è registrato, tra il 2010 e il 2015, un forte incremento della ricchezza specifica e della numerosità di individui, indicando un ambiente complesso, caratterizzato da diverse tipologie di habitat (laguna viva, velme, barene naturali e artificiali), in grado di ospitare un numero sempre più elevato di specie e di individui (figura 6). Tale risultato coincide con quanto riportato in letteratura (Bon *et al.*, 2014) che evidenzia un trend positivo degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Venezia, annoverando attualmente la presenza di 186 specie svernanti e di 140 specie nidificanti, valori nettamente superiori a quanto riportato negli atlanti provinciali precedenti (Stival, 1996; Bon *et al.*, 2000).
L'importanza dei siti monitorati è altresì sottolineata dalla presenza di specie di interesse conservazionistico e con un diverso grado di minaccia, che risultano in numero particolarmente elevato al Bacan di Sant'Erasmo e in laguna aperta (tabella 1). I nostri risultati consentono una valutazione complessivamente positiva riguardo alle specie incluse nelle categorie di minaccia IUCN evidenziando, nella maggior parte dei casi, un aumento della numerosità delle categorie a parità di numero di specie contattate. Fanno eccezione San Felice e la laguna sud, in cui è stato rilevato un trend negativo della classe "Vulnerabile" causato da un lato da una riduzione dei contingenti a parità di numero di specie, dall'altro da un sensibile aumento del numero di specie appartenenti a tale classe. Egualmente, al Bacan di Sant'Erasmo si è osservata una riduzione della numerosità della classe "Quasi Minacciata" a parità di numero di specie (figura 7).
La situazione si discosta da quella sopra descritta per quanto concerne le specie incluse nell'Allegato I della Direttiva Uccelli: queste diminuiscono nei siti costieri maggiori, aumentano in numerosità, a parità di numero di specie, nei siti minori (ad eccezione di

San Felice dove si osserva una contrazione del numero di specie prioritarie nel corso del monitoraggio) e tendono all'equidistribuzione degli individui al Bacan di Sant'Erasmo e in laguna aperta. Tale tendenza è causata dalla riduzione del numero di individui a parità di numero di specie al Bacan, mentre in laguna da un aumento del numero di specie prioritarie (figura 8).
I risultati ottenuti dimostrano uno sfruttamento, continuativo negli anni, dei siti monitorati da parte delle specie minacciate e prioritarie ed evidenziano la necessità di adottare tutte le misure di conservazione opportune per tutelare tali specie come, ad esempio, una corretta gestione degli habitat, la protezione dei nidi per le specie nidificanti a terra o la limitazione e delocalizzazione del disturbo antropico nel periodo riproduttivo, come la presenza di bagnanti, le attività nautico-sportive, il transito di motoveicoli e di cani sciolti sui litorali o l'abbandono incontrollato di rifiuti, specialmente nel periodo riproduttivo.
In relazione alla caratterizzazione trofica delle comunità ornitiche, i siti costieri monitorati sono risultati caratterizzati dalla presenza preponderante di specie insettivore e granivore, maggiormente specializzate dal punto di vista alimentare e ecologico (tabella 2 e figura 9). Soltanto a Ca' Roman è stata registrata una prevalenza di specie onnivore. È stata evidenziata una netta contrazione delle specie insettivore ad Alberoni e a San Felice, probabile indice di una alterazione strutturale dell'habitat boschivo cui tali specie sono strettamente legate. Al contrario, a San Nicolò e a Ca' Roman è emersa una riduzione delle specie generaliste, tipiche di ambienti marginali e antropizzati, di cui un esempio lampante è il gabbiano reale. Gli altri gruppi trofici mostrano una condizione di stabilità a Ca' Roman ed un andamento positivo a San Nicolò. Tale risultato consente una valutazione positiva per questi due siti, indicando uno stato di salute degli ambienti naturali in essi presenti ed un grado di disturbo trascurabile. È stato infatti dimostrato che le specie sensibili o specialiste (ovvero quelle legate ad habitat specifici) tendono ad essere rilevate in paesaggi meno frammentati e con un minor grado di disturbo antropico rispetto alle specie generaliste (Devictor *et al.*, 2008). A Punta Sabbioni invece si osserva un calo delle specie carnivore, come sterne e limicoli, portando a pensare ad uno stato di sofferenza della fascia litoranea, probabilmente in parte causata dalla balneazione e dallo sfruttamento turistico del sito durante il periodo estivo che ne provoca sia il degrado che una riduzione di superficie utile per gli uccelli.
Le popolazioni nidificanti nei siti costieri hanno delineato una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni di monitoraggio ad Alberoni, Ca' Roman e San Felice (figura 10). Tali risultati concordano con quanto riportato in letteratura, in cui si evidenzia nell'ultimo decennio un drastico calo di alcune specie nidificanti lungo i litorali del Comune di Venezia, quali fratino e fraticello; quest'ultima specie non è più stata osservata come ni-

15. Esemplare di fratino, *Charadrius alexandrinus*. La specie risulta in forte calo nel nostro Paese tanto da essere classificata come "In Pericolo" (EN) nella Lista Rossa nazionale. In laguna di Venezia si sta assistendo, nell'ultimo ventennio, ad un crollo delle coppie nidificanti nei litorali e ad un parallelo aumento di quelle insediate sulle barene lagunari (Foto di M. Basso).

dificante nei siti di indagine negli ultimi anni (Scarton *et al.*, 2001; Scarton *et al.*, 2007). Il declino di tali specie nei siti monitorati è probabilmente da imputarsi alla elevata pressione antropica cui sono soggetti i litorali, in particolar modo nel periodo estivo, oltre al degrado degli habitat cui esse sono legate per la nidificazione. Migliore la situazione negli altri tre siti (Punta Sabbioni, San Nicolò e Santa Maria del Mare) in cui è stato rilevato un andamento positivo dell'indice IPA a partire dal 2010 (figura 10). Questo risultato è di particolare importanza in quanto indica che tali aree soddisfano i bisogni delle specie, note per essere particolarmente esigenti nel periodo riproduttivo (presenza di habitat idonei alla nidificazione, sufficienti risorse trofiche e ripari dai predatori).
Gli andamenti delle abbondanze delle specie target hanno evidenziato una differenza tra il Bacan di Sant'Erasmo e l'area vasta lagunare relativamente al piovanello pancianera: mentre al Bacan la specie diminuisce, in laguna aperta si ha un forte incremento della popolazione (figura 11). Tale risultato appare in linea con quanto riportato in bibliografia circa il continuo aumento di piovanelli pancianera svernanti in laguna di Venezia: si è passati dai 10.800 individui registrati nel gennaio 1993 ai 37.587 individui rilevati nel 2015 (Basso e Bon, 2015). Tale valore risulta nettamente superiore alla soglia dell'1% della relativa popolazione nazionale (criterio dell'1% della Convenzione di Ramsar), che si attesta sui 65-79.000 individui svernanti (Birdlife International, 2015), rendendo la laguna di Venezia il più importante sito di sverno per questa specie a livello nazionale. Dunque, il declino di piovanello pancianera registrato al Bacan di Sant'Erasmo risulta compensato da un aumento dei contingenti di tale specie nel complesso lagunare, indicando una ridislocazione delle presenze all'interno della laguna. Risultato questo messo in evidenza dal massivo spostamento della specie dall'arenile del Bacan, che fino alla metà degli anni Duemila costituiva il principale posatoio della specie (Bon *et al.*, 2014), verso la lunata della bocca di porto di Lido (figura 12). Ciò indica uno sfruttamento degli habitat artificiali di neoformazione presenti in laguna da parte delle specie ornitiche. Tale utilizzo è confermato dagli studi di alcuni Autori che hanno dimostrato una progressiva e crescente tendenza degli uccelli acquatici ad utilizzare le barene artificiali lagunari per l'alimentazione, la nidificazione e la sosta (Scarton e Valle, 1999; Scarton, 2005; Scarton *et al.*, 2009; Scarton, 2014). Ne è un esempio il fratino che, negli ultimi venti anni, ha progressivamente abbandonato i litorali veneziani come siti di nidificazione per insediarsi sulle barene naturali prima e su quelle artificiali successivamente (Scarton *et al.*, 2013b; Scarton, 2017, in questo volume). I nostri risultati tuttavia hanno evidenziato una tendenza alla diminuzione di questa specie sia al Bacan che in area vasta. La specie infatti è in declino in tutto il territorio nazionale avendo registrato negli ultimi 10 anni un calo del 50% dei nidificanti (Peronace *et al.*, 2012). Risulta in calo anche come svernante, passando dai 59 individui registrati in laguna di Venezia nel gennaio 1993 ai

16. Esemplari di piovanello pancianera, *Calidris alpina*, posati su delle paline in laguna sud. La popolazione svernante di questa specie risulta in forte incremento in laguna di Venezia essendo più che triplicata in un ventennio circa (1993-2015) (Foto di M. Basso).

48 dell'inverno 2015 (Basso e Bon, 2015).
Diversa la situazione per pivieressa che mostra un generale aumento nel corso del monitoraggio, evidenziando un andamento prettamente stagionale con picchi di presenza nel periodo di migrazione post-riproduttiva e dello svernamento. La laguna di Venezia rappresenta il terzo sito italiano per entità del nucleo svernante di questa specie, dopo la laguna di Grado-Marano e Panzano e il parco del Delta del Po (Zenatello *et al.*, 2014), con una media di 1.256 individui svernanti nel gennaio 2011-2015 (Basso e Bon, 2015).
Infine, i dati del monitoraggio sono risultati correlati significativamente con i dati IWC (figura 13) indicando la validità dei metodi di campionamento impiegati ai fini del progetto e l'attendibilità dei risultati emersi dalle analisi.
I risultati esposti in questo lavoro vanno oltre la contingenza dei lavori alle bocche di porto e assumono un valore generale per l'intero comprensorio lagunare, in particolare per la corretta gestione dei siti di interesse comunitario in esso presenti. L'attività di monitoraggio condotta a partire dal 2005 ha consentito di acquisire una ingente mole di dati, permettendo di passare da una fase di conoscenza qualitativa e descrittiva delle comunità ornitiche presenti nei siti in esame (check-list e fenologia delle specie) ad una conoscenza quantitativa (incidenza numerica e trend di presenza delle specie). Tali informazioni si configurano come uno strumento di supporto decisionale utile per una corretta programmazione e gestione territoriale, in equilibrio tra necessità di salvaguardia ambientale e realizzazione di grandi opere.

Conclusioni

Nelle comunità ornitiche proprie dei diversi siti monitorati è intervenuto un processo evolutivo, come testimoniato dalle variazioni dei parametri ecologici descrittori delle comunità stesse.
Il periodo di osservazione decennale ha permesso di inquadrare bene i mutamenti intervenuti, facendoli ritenere non tanto delle variazioni casuali momentanee, bensì delle effettive tendenze a cui le comunità sono andate incontro nel tempo. Tali andamenti tuttavia non sono univoci e questa è una delle evidenze principali a cui il Monitoraggio ha portato; le analisi degli andamenti degli indici ecologici effettuate hanno infatti dimostrato chiaramente come alcune delle comunità monitorate sono andate incontro a fenomeni depauperativi, altre sono state interessate da un tangibile arricchimento in termini di numero di specie e di numerosità degli individui ed altre ancora risultano tendenzialmente stabili.
La eterogeneità delle fenomenologie riscontrate ammette una lettura complessa e proiettata sui vari cambiamenti intervenuti in laguna nel periodo qui considerato. Innegabilmente i lavori alle bocche di porto hanno mutato lo stato dei luoghi, per la perdurante presenza dei cantieri, per la occupazione fisica di aree considerevoli, ovvero per la creazione ex novo di elementi, quali infrastrutture portuali o barene artificiali per riutilizzare i sedimenti movimentati dai lavori alle bocche di porto stesse. Ciò ha creato disponibilità di siti di nidificazione o di riposo prima inesistenti, ben presto e massivamente sfruttati dalle specie acquatiche (Anseriformi e Caradriformi); nell'area vasta lagunare, infatti, le comunità ornitiche sono risultate in una condizione di espansione numerica generalizzata, salvo limitate eccezioni (Scarton, 2017, in questo volume). Ciò depone a favore della capacità portante della laguna, in grado di ospitare frazioni significative delle popolazioni svernanti e nidificanti delle specie acquatiche del Paleartico occidentale, alcune delle quali di particolare importanza conservazionistica.
Al contrario, le comunità degli ambienti costieri prospicienti le bocche di porto, domi-

nate in questo caso da Passeriformi, hanno subìto modelli evolutivi differenti, in taluni casi negativi, con cambiamenti significativi dei parametri descrittori del loro stato popolazionistico.
In un quadro così complesso di cambiamenti intervenuti, appare difficile trovare un fattore causale ad essi comune. La laguna veneta è un'area densamente antropizzata, ricca di infrastrutture e siti produttivi; soprattutto è, dal punto di vista ecologico, un'area tipicamente aperta, soggetta ad una elevata dinamicità e complessità dei flussi energetici, con spesso impredicibili andamenti dei parametri ambientali. Delle comunità ornitiche lagunari fanno parte contingenti migratori di grande portata che determinano cambiamenti nella biodiversità di tali comunità lungo tutto il corso dell'anno. Portata, intensità, composizione specifica dei flussi migratori sono elementi del tutto indipendenti dallo stato lagunare, che potrà o meno accoglierli ma non certo determinarli.
Inoltre, l'individuazione dei fattori responsabili delle tendenze negative riscontrate in alcune delle comunità ornitiche monitorate risulta piuttosto difficile, dal momento che non sono disponibili dei dati di controllo, puntuali e ripetuti, inerenti comunità ornitiche presenti in siti analoghi a quelli indagati, ma lontani dalle bocche di porto, da utilizzarsi per confronto.
Fatti incontrovertibili sono gli incrementi registrati nel numero di uccelli acquatici svernanti in laguna, fenomeno comune a molte aree del nostro Paese, ma anche segno della disponibilità di siti di sosta, alimentazione e nidificazione che la laguna può offrire agli uccelli stanziali e migratori. Alcune specie di Limicoli, che avevano abbandonato aree di riposo notturno dove ampiamente si congregavano all'inizio del monitoraggio, sono state successivamente ritrovate in nuove localizzazioni prima inesistenti e dunque sono semplicemente andate incontro a fenomeni di dislocazione ma non di depauperamento popolazionistico.
Le comunità dei siti costieri, localizzati in stretta vicinanza con le bocche di porto, hanno evidenziato, in taluni casi, uno stato di sofferenza; tuttavia, alle flessioni in essi registrate ha fatto seguito un diverso grado di recupero. Tali siti, essendo stati designati come aree SIC/ZPS, rivestono una importanza prioritaria e come tali risulta ineludibile la loro salvaguardia e conservazione.
Durante il monitoraggio non sono stati individuati fattori causali responsabili dei cambiamenti dello stato popolazionistico delle comunità di queste aree, se non quelli derivanti dalla contiguità con le aree di cantiere. Due sono i siti che sembrano aver subìto i maggiori effetti sulle loro comunità ornitiche, nella fattispecie Alberoni e San Felice, nonostante le misure di mitigazione per la tutela faunistica e ambientale imposte ai cantieri. Tali mitigazioni hanno compreso sia l'adozione di apparati silenziatori capaci di abbassare i livelli acustici provenienti dalle macchine operatrici più rumorose, come quel-

17. Stormo di piovanelli pancianera, *Calidris alpina*, in volo sopra una barena artificiale in laguna sud e censitore al lavoro per stimarne il numero di individui (Foto di M. Basso).

le per la battitura dei pali o per la trivellazione, sia la sospensione degli interventi che producono un forte rumore e/o vibrazioni nelle ore immediatamente successive all'alba, nel periodo riproduttivo; il primo mattino, infatti, è il momento di massima attività canora ("dawn chorus"), in cui le attività comportamentali connesse con la conquista del territorio, con il corteggiamento e con la successiva nidificazione hanno la massima efficacia biologica.
Nonostante i suddetti accorgimenti, i risultati esposti nel recente Studio B.6.72 B/11 (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2016) hanno indicato un effetto negativo della sorgente rumorosa proveniente dai cantieri, in particolare delle attività con emissioni superiori ai 70 dB(A), sulle comunità ornitiche dei siti costieri prospicienti i cantieri; infatti, come accennato nell'introduzione, i rumori derivanti da cantieri non solo sono in grado di determinare effetti negativi sulla composizione in specie e sulla abbondanza relativa delle comunità ornitiche ad essi esposte, ma possono anche causare un danno diretto all'apparato uditivo di alcune delle specie presenti (Rheindt, 2003; Dooling e Popper, 2007). Ancora, i rumori derivanti dalle attività antropiche possono essere causa di una sovraproduzione di ormoni corticosteroidei, indice di uno stato di stress degli individui oltre che di un mascheramento del canto di specie canore (ordine Passeriformi) (Brumm e Slabbekoorn, 2005; Slabbekoorn e Ripmeester 2008). Queste due situazioni sono state verificate nelle comunità ornitiche monitorate rispettivamente all'interno dello Studio B.6.72 B/3 (MAG.ACQUE-CORILA, 2008; Albores-Barajas *et al.*, 2012) e dello Studio B.6.72 B/9 (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2014; Baldaccini *et al.*, 2014), dimostrando come in esse abbiano operato sia fattori di stress che fattori di mascheramento della comunicazione intraspecifica.
Ciò porta a ritenere la rumorosità dei cantieri il fattore causale primo della contrazione del popolamento ornitico osservata nei siti costieri nei primi anni di monitoraggio. Non a caso le attività più rumorose e perturbative, quali la battitura pali, la vibro-infissione delle palancole o le opere di trivellazione, sono state condotte tra il 2008 e il 2011, periodo concomitante con i maggiori cambiamenti registrati nello stato di tali comunità. Tuttavia non si possono escludere altri fattori concausali, primo fra tutti la pesante pressione antropica riscontrabile nei siti monitorati specialmente nel periodo estivo, che possano aver contribuito in maniera sostanziale alla diminuzione della diversità e numerosità dei popolamenti ornitici osservata nei siti costieri nel corso degli anni.
Ciò detto, dai risultati emersi in questo lavoro che mostrano in taluni casi un recupero, in altri una stabilizzazione delle comunità costiere, appare ragionevole pensare che, una volta tornati i livelli sonori entro la soglia di accettabilità per l'avifauna (< 60 dB(A)) e una volta concluse le fasi esecutive dei cantieri, tali comunità possano recuperare gli assetti popolazionistici loro propri, a meno che nel frattempo non siano intervenuti altri fattori, non direttamente legati ai lavori, a determinare una evoluzione sfavorevole delle condizioni ambientali dei territori su cui insistono le comunità o ancora dei cambiamenti popolazionistici di larga scala a carico delle specie che le compongono.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento va ai rilevatori, Lucio Panzarin e Marco Basso, che hanno condotto i censimenti nel corso di questi dieci anni. Un ringraziamento particolare va a Mauro Bon per la proficua collaborazione scientifica che si è protratta durante tutto il monitoraggio. Si ringraziano infine quanti hanno collaborato sin dagli esordi del monitoraggio e che hanno reso possibile la realizzazione di questo lavoro, dai supervisori scientifici, a Cecilia Soldatini, Yuri Albores-Barajas e Simone Tenan, a Federico Riccato e Riccardo Fiorin di Laguna Project, che hanno condotto le imbarcazioni con cui sono stati effettuati i censimenti in laguna.

Bibliografia

Albores-Barajas Y.V., Baldaccini N.E., Möstl E., Soldatini C. (2012) Use of captive bred Passerines to monitor human disturbance using corticosterone metabolites. International Journal of Biology 4: 39-46.

Baldaccini N.E., Campostrini P., Coccon F., Dabalà C., Fausti P., Santoni A., Soldatini C. (2014) Birds and noise: the MOSE yards case (Lagoon of Venice, Italy). Fifth International Symposium Monitoring of mediterranean Coastal Areas. Problems and Measuraments Techniques. Livorno, June 17-19: pp. 807-816.

Basso M. & Bon M. (2015) Censimento degli uccelli acquatici svernanti in provincia di Venezia, Gennaio 2015. Provincia di Venezia-Servizio Caccia e Pesca. Relazione non pubblicata.

Baudains T. P. & Lloyd P. (2007) Habituation and habitat changes can moderate the impacts of human disturbance on shorebird breeding performance. Animal Conservation 10: 400-407.

Bibby C., Jones M., Marsden S. (1998) Expedition Field Techniques: Bird Surveys. Royal Geographical Society, London.

Bibby C. J., Burgess N.D., Hill, D.A., Mustoe, S.H. (2000) Bird Census Techniques. Academic Press, London.

BirdLife International (2015) European red list of birds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Bon M. & Scarton F. (a cura di) (2012) Lo svernamento degli uccelli acquatici in provincia di Venezia (1993-2012). Provincia di Venezia-Assessorato alla caccia.

Bon M. & Stival E. (a cura di) (2013) Uccelli di laguna e di città. L'atlante ornitologico nel comune di Venezia 2006-2011. Marsilio Ed., Venezia.

Bon M., Cherubini G., Semenzato M., Stival E. (a cura di) (2000) Atlante degli uccelli nidificanti in provincia di Venezia, Provincia di Venezia. Servizi Grafici Editoriali, Padova.

Bon M., Scarton F., Stival E., Sattin L., Sgorlon G. (a cura di) (2014) Nuovo atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Venezia, Associazione Faunisti Veneti, Museo di Storia Naturale di Venezia.

Brumm H. & Slabbekoorn H. (2005) Acoustic communication in noise. Advances in the Study of Behavior 35: 151-209.

Brunner A., Celada C. , Rossi P. and Gustin M. (2002) Sviluppo di un sistema nazionale delle ZPS sulla base delle rete delle IBA (Important Bird Areas). LIPU-BirdLife Italia-Ministero Ambiente, Servizio Conservazione Natura, Roma. .

Clarke K. & R. Gorley (2006) PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.

Devictor V., Julliard R., Jiguet F. (2008) Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation. Oikos 117: 507-514.

Dooling R.J. & Popper A.N. (2007) The effects of highway noise on birds.The California Department of Transportation Division of Environmental Analysis. Sacramento, CA.

Gariboldi A., Rizzi V., Casale F. (2000) Aree importanti per l'avifauna in Italia. LIPU, Parma.

Gill J.A. (2007) Approaches to measuring the effects of human disturbance on birds. Ibis 149: 9-14.

Hutto R.L., Pletschet S.M., Hendricks P. (1986) A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. The Auk 103: 593-602.

IUCN (2012) IUCN red list. Categories and criteria: Version 3.1. Second edition. Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2006-13) Studi B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area Ecosistemi di pregio. Macroattività: Avifauna. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Peronace V., Cecere J.G., Gustin M., Rondinini C. (2012) Lista Rossa 2011 degli uccelli nidificanti in Italia. Avocetta 36: 11-58.

Pielou, E.C. (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology 13: 131-144.

Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (anni 2014-2016) Studi B.6.72 B/9-B/11. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area Ecosistemi di pregio. Macroattività: Avifauna. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing,Vienna, Austria. URL: http://www.R-project.org/

Rees E.C., Bruce J.H., White G.T. (2005) Factors affecting the behavioural responses of whooper swans (Cygnus c. cygnus) to various human activities. Biological Conservation 12: 369-382.

Rheindt F.E. (2003) The impact of roads on birds: Does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution?. Journal fur Ornithologie 14: 295-306.

Scarton F. (2005) Breeding birds and vegetation monitoring in recreated salt marshes of the Venice lagoon. In: Fletcher C. A., Spencer T., (eds). Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon. State of Knowledge. Cambridge University Press, Cambridge.pp. 573-579.

Scarton F. (2010) Long term decline of a Common Tern (Sterna hirundo) population nesting in salt marshes in Venice lagoon, Italy. Wetlands 30: 1153-1159.

Scarton F. (2014) Occurrence and habitat use of five waders in the Lagoon of Venice (Italy) [in Italian]. Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia 65: 163-179.

Scarton F. (2017) Le specie di interesse conservazionistico nidificanti nella laguna aperta. In "Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia", P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi (editors), CORILA, Venezia.

Scarton F. & Valle R. (1999) The use of dredge islands by birds in northern Adriatic lagoons. Avocetta 23: 75-75.

Scarton F., Scattolin M., Valle R. (2001) Interventi di pulizia degli arenili e conservazione delle popolazioni nidificanti di Fratino Charadrius alexandrinus Linnaeus, 1758 e fraticello Sterna albifrons Pallas, 1764: un esempio nei litorali veneziani. Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia Suppl. 51: 199-201.

Scarton F., Baldin M., Scattolin M. (2007) Fratino, Charadrius alexandrinus Linnaeus, 1758, fraticello, Sterna albifrons Pallas, 1794 e gruccione, Merops apiaster Linnaeus, 1758 nidificanti lungo i litorali del Comune di Venezia: aggiornamento al 2005. Lavori Società Veneziana Scienze Naturali 32: 77-79.

Scarton F., Baldin M., Valle R. (2009) L'avifauna acquatica nidificante nelle barene artificiali della laguna di Venezia. Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia 60: 127-141.

Scarton F., Cecconi G., Cerasuolo C., Valle R. (2013a) The importance of dredge islands for breeding waterbirds. A tree-year study in the Venice Lagoon (Italy). Ecological Engineering 54: 39-48.

Scarton F., Cecconi G., Valle R. (2013b) Use of dredge islands for a declining European shorebird, The Kentish Plover Charadrius alexandrinus. Wetlands Ecology and Management 21: 15-27.

Shannon C.E. & Weaver W. (1963) The mathematical theory of communication, University of Illinois Press, Champaign IL .

Slabbekoorn H. & Ripmeester E.A. (2008) Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. Molecular Ecology 17: 72-83.

Stival E. (1996) Atlante degli uccelli svernanti in provincia di Venezia. Grafiche Italprint, Treviso.

Walker B.G., Boersma P.D., Wingfield J.C. (2006) Habituation of adult magellanic penguins to human visitation as expressed through behavior and corticosterone secretion. Conservation Biology 20: 146-154.

Zenatello M., Baccetti N., Borghesi F. (2014) Risultati dei censimenti degli uccelli acquatici svernanti in Italia. Distribuzione, stima e trend delle popolazioni nel 2001-2010. ISPRA, Serie Rapporti, 206/2014.

Summary

With over 370.000 birds recorded each year in the wintering period and the largest number of species of European Community interest, the lagoon of Venice has an exceptional value to bird conservation. Considering the environmental importance of the areas interested by the MOSE construction yards, in order to preserve the integrity of the habitats a Monitoring Program was started in 2005 with the aim to check the possible disturbances of the works on birds. Here, we present results of surveys conducted in the period 2005-2015 with the aim to describe the temporal evolution of bird communities within the study sites. At the beginning, such monitoring activities were focused only on the SCI/SPA areas of Punta Sabbioni, Alberoni, Ca' Roman and Bacan Sant'Erasmo. Afterwards, starting from the fourth year, surveys were extended to the coastal sites of San Nicolò, Santa Maria del Mare, San Felice and to the entire lagoon open to tidal expansion. Our results show that birds have been influenced by the MOSE construction yards, revealing substantial changes in the ecological parameters descriptive of the status of bird communities within the study areas. Such changes were positive in some cases while negative in some others. The exploitation of the study sites by a considerable number of priority and threatened species has been also highlighted. Finally, this study pointed out a general positive situation in the whole lagoon, where a significant increase of biodiversity and abundance of individuals has been found. This suggests a high carrying capacity of the lagoon of Venice. The Monitoring Plan represents a real investigation on the effects of the MOSE yards on bird communities within the study area. This allowed us to adopt all the appropriate actions to protect the monitored sites and preserve habitats and species present in them. More importantly, the Monitoring allowed us to move from a qualitative and descriptive knowledge on birds, both migratory and resident, which exploit the lagoon to a quantitative one. The latter much more useful for management purposes of the territory. Information presented in this paper can be used as a decision support tool for a proper planning and management of the lagoon, in equilibrium between the necessity of environmental protection and the development of man-made infrastructures.

Le specie di interesse conservazionistico nidificanti nella laguna aperta: anni 2013-2015

Bird species of conservation concern breeding in saltmarshes and dredge islands of the lagoon of Venice: years 2013-2015

Francesco Scarton

Premessa

La laguna di Venezia è ampiamente riconosciuta a livello internazionale per l'eccezionale valore per la conservazione dell'avifauna. Con una media di 370.000 uccelli svernanti nel gennaio 2011-2015 (Basso e Bon, 2015), essa risulta infatti tra i siti più rilevanti dal punto di vista ornitologico lungo le coste del Mediterraneo. Non da meno è la situazione delle specie nidificanti, con popolazioni di dimensioni significative che utilizzano la laguna nel periodo riproduttivo, durante il quale le loro scelte di habitat si fanno più esigenti e vincolanti. La laguna di Venezia costituisce la più importante zona umida italiana ed è ampiamente rappresentata all'interno della rete ecologica europea "Natura 2000", istituita ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli", con una Zona di Protezione Speciale estesa all'intero bacino lagunare (ZPS IT3250046-Laguna di Venezia), due Siti di Importanza Comunitaria (SIC IT3250030-Laguna medio-inferiore di Venezia; SIC IT3250031-Laguna superiore di Venezia) e due zone SIC/ZPS situate attorno alle bocche di porto (IT3250003-Penisola del Cavallino: biotopi litoranei e IT3250023-Lido di Venezia: biotopi litoranei).
Tra le specie acquatiche nidificanti numerose rivestono una particolare importanza in quanto presentano una distribuzione ristretta, limitata alla zone umide, oppure hanno popolazioni numericamente esigue, in precario stato di conservazione. A causa di ciò, tali specie risultano incluse in Direttive comunitarie, Convenzioni internazionali o in Liste Rosse sia nazionali che internazionali. La laguna assume dunque una speciale rilevanza per la conservazione di specie, altrove rare se non addirittura rarissime, rappresentando su scala nazionale la più estesa Important Bird Area (IBA) tra le aree umide, con il maggior numero di specie di interesse comunitario da preservare (Gariboldi *et al.*, 2000; Brunner *et al.*, 2002).
Le indagini ornitologiche condotte nel periodo 2013-2015 nella laguna aperta e di seguito riassunte rappresentano la continuazione di un monitoraggio dell'avifauna acquatica iniziato, almeno per alcune specie, già nei primi anni Ottanta del secolo scorso, e forniscono dati sullo stato ed il trend delle popolazioni di acquatici nidificanti, da utilizzarsi come base di confronto per i successivi anni, quando il MOSE sarà operativo. Tra il 1983 e il 1984 venne condotto il primo censimento esaustivo di tutte le specie di Laridi e Sternidi presenti nella laguna di Venezia, coordinato a livello locale dal Museo Civico di Storia Naturale di Venezia. I risultati vennero pubblicati assieme a quelli delle altre

zone umide italiane (Fasola, 1986) e rappresentano a tutt'oggi il primo e finora unico censimento a livello nazionale di tutte le colonie di Laridi e Sternidi.
Dopo il 1984 seguirono alcuni anni di pressoché totale assenza di indagini nella laguna di Venezia (ma si veda Manzi *et al.*, 1992 per cavaliere d'Italia *Himantopus himantopus* e avocetta *Recurvirostra avosetta*) fino al 1989 quando, per conto della Regione Veneto, vennero ripresi i censimenti delle colonie di Laridi e Sternidi. Negli anni successivi questi vengono realizzati per conto di Enti Pubblici (Magistrato alle Acque di Venezia, ora Provveditorato alle Opere Pubbliche del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia) o autonomamente da privati (gli ornitologi S. Borella, F. Scarton, R. Valle e la Società SELC soc. coop.) Sono da citare anche gli esaustivi censimenti del Gabbiano reale *Larus michahellis* condotti sull'intero bacino lagunare nel 2003 da Soldatini *et al.* (2009).
I risultati relativi ai censimenti condotti fino al 2012 nella laguna di Venezia sono stati pubblicati su riviste scientifiche a carattere locale o nazionale (Scarton e Valle, 1997; 1998; Scarton e Valle, 2015), internazionale (Scarton, 2008; 2010) e in volumi divulgativi (Scarton *et al.*, 2010). Pur con alcune limitazioni i censimenti delle colonie nidificanti nella laguna aperta di Venezia costituiscono uno dei monitoraggi faunistici più lunghi tra quelli condotti in Italia; tra questi si citano i censimenti degli Ardeidi in Lombardia, attivi dal 1972 (Fasola *et al.*, 2010), dei Laridi e degli Sternidi nidificanti nelle Valli di Comacchio dal 1977 al 2001 (Brichetti e Foschi, 2006) o quello degli uccelli svernanti, condotti ininterrottamente in laguna di Venezia e nelle altre umide italiane sin dai primi anni Novanta del secolo scorso (Bon e Scarton, 2012).
Si deve aggiungere che le valli da pesca e le casse di colmata sono sempre state escluse dai censimenti effettuati dal 1989. L'entità complessiva delle popolazioni nidificanti nell'intera laguna di Venezia, quindi non solamente nel bacino aperto all'espansione di marea, può pertanto essere solo stimata. I litorali sono invece sempre stati inclusi, ed i risultati indicano come tra la foce del Piave e quella del Brenta si contano al massimo qualche decina di coppie del solo fraticello. Più significativa è la presenza di Laridi e Sternidi nidificanti nelle valli da pesca, mai interessate da censimenti esaustivi e simultanei; tale lacuna è certamente rilevante, come verrà discusso più avanti. Le casse di colmata B e D/E, nonostante l'elevato valore ornitologico solo raramente sono state oggetto di censimento (Scarton *et al.*, 2000); l'unica specie tra i Laridi o gli Sternidi che vi abbia mai nidificato è il gabbiano reale, che fino ad anni recenti si riproduceva con una popolazione di rilevanti dimensioni, stimata in alcune migliaia di coppie (Scarton *et al.*, 2000; Soldatini *et al.*, 2009).
Risultano invece meno estesi nel tempo i dati disponibili relativamente alle barene artificiali, realizzate a partire dalla fine degli anni Ottanta del secolo scorso (Scarton *et al.*, 2013a). Soltanto dieci anni più tardi sono stati effettuati per conto di Magistrato alle Acque di Venezia-Consorzio Venezia Nuova i primi censimenti parziali (Scarton *et al.*, 1995). Successivamente i dati sono stati raccolti in maniera opportunistica (Scarton, oss. pers.) e un monitoraggio pluriennale di tutte le barene artificiali presenti nel bacino lagunare è iniziato nel 2005 ed è proseguito fino al 2011, con la sola eccezione dell'anno 2008 e parzialmente del 2012. Censimenti esaustivi di tutte le specie nidificanti sono ripresi nel 2013, fino al 2015. I risultati sono stati pubblicati su riviste scientifiche sia a carattere locale (Scarton *et al.*, 2009) che internazionale (Scarton, 2005; Scarton *et al.*, 20013a e 2013b; Scarton and Montanari, 2015).
Lo scopo di questo lavoro è quello di presentare i dati acquisiti nell'ambito del monitoraggio degli effetti dei cantieri alle bocche di porto nel 2013-2015 sugli uccelli acquatici nidificanti in laguna aperta, inserendoli in un contesto ventennale di conoscenze pregresse.

1. Laguna di Venezia, con evidenziate le barene naturali (in grigio scuro) e quelle artificiali (in nero).

Area di studio

I censimenti sono stati effettuati nell'intero bacino lagunare aperto all'espansione di marea. Sulle barene naturali, circa 3600 ha (Mion *et al.*, 2010), possono potenzialmente insediarsi le colonie di Laridi e Sternidi. In realtà vi sono ampie aree barenali che non hanno mai ospitato colonie negli ultimi vent'anni; fino a pochi anni orsono la maggior parte delle colonie, in alcuni anni la totalità, si localizzava infatti nel settore centro meridionale del bacino lagunare (figura 1). Negli anni successivi colonie di buone dimensioni si sono invece insediate anche nel settore settentrionale. Le colonie di Laridi e Sternidi occupano sulle barene naturali quasi esclusivamente i cumuli di vegetazione spiaggiata, legname e più raramente di conchiglie che si rinvengono ai margini delle barene o al loro interno (figura 2). La presenza di questi ammassi di materiale spiaggiato è pertanto di fondamentale importanza e condiziona pesantemente l'insediamento delle colonie di Laridi e Sternidi.
Le barene artificiali sono distribuite in tutto il bacino lagunare, per quanto siano più numerose in quello centro meridionale (figura 1). Nel 2015 erano presenti circa 130 barene artificiali con un'estensione complessiva di 1320 ettari ed una media di circa 10 ettari. Vedute aeree a bassa quota sono riportate nelle figure successive; mentre le barene artificiali da poco realizzate sono in massima parte prive di copertura vegetale, quelle di

2. Colonia di beccapesci su cumuli di conchiglie spiaggiate; sullo sfondo l'isola di Murano.

più vecchia realizzazione presentano una buona copertura vegetale e una discreta variabilità morfologica (figure 3 e 4).
Meno importante ma comunque regolare è l'utilizzo di altri siti prettamente artificiali, quali botti da caccia, ruderi di casoni lagunari, motte ed isolotti, isole artificiali di maggiori dimensioni. Generalmente questi siti ospitano colonie molto piccole, con meno di una decina di coppie, ma nell'Isola delle Tresse si sono recentemente insediate colonie più grandi.

Metodi di indagine

Per la localizzazione delle colonie di Laridi e Sternidi sulle barene naturali sono stati applicati i metodi adottati ininterrottamente dal 1989, che seguono quanto indicato dalla letteratura specialistica (Fasola, 1986; Steinkamp *et al.*, 2003; Gagliardi e Tosi, 2012).
Tutta la laguna aperta è stata percorsa alla ricerca delle colonie delle specie considerate: gabbiano comune *Chroicocephalus ridibundus*, gabbiano corallino *Larus melanocephalus*, fraticello *Sternula albifrons*, beccapesci *Sterna sandvicensis*, sterna comune *Sterna hirundo*. Il gabbiano reale è molto comune nei siti artificiali ma finora non ha mai nidificato nelle barene naturali. La presenza delle colonie è generalmente indicata dall'andirivieni di adulti da e verso il sito di nidificazione, o dal volo continuo di adulti al disopra del sito stesso. Questo peculiare comportamento facilita l'individuazione a distanza delle colonie medio-grandi; le colonie più piccole possono invece facilmente sfuggire all'osservazione a distanza ed è pertanto necessario effettuare visite ripetute soprattutto nelle aree lagunari più interne.
Per "sito di nidificazione" si intende sempre il luogo (barena naturale, barena artificiale, spiaggia, botte da caccia, ecc.) dove si è osservata la nidificazione di almeno due coppie; come "colonia" si intende un gruppo di almeno due coppie che nidifichino nello stesso sito. Le nidificazioni singole sono molto rare; non vengono considerate come una "colonia" e non sono state conteggiate nei totali di seguito riportati. Una volta identificata la possibile presenza di una colonia, si è proceduto a sbarcare nel sito e ad effettuare un veloce conteggio dei nidi di ciascuna specie contenenti uova e/o pulcini, definiti nella letteratura scientifica con il nome di "nidi attivi". Le visite si sono sempre protratte per

non più di 30 minuti, per ridurre il disturbo alle coppie nidificanti e con la presenza al massimo di due operatori in contemporanea, oltre al conducente dell'imbarcazione. Le visite sono state effettuate sempre tra le ore 8 e le 14, evitando periodi di maltempo o con marea superiore a +0.60 m s.l.m., livello che comporta l'inizio della sommersione delle barene naturali e una conseguente notevole agitazione negli animali.
Ogni colonia è stata visitata almeno due volte nel corso del periodo maggio-luglio degli anni 2013-2015. Il numero di coppie nidificanti nella colonia è stato considerato pari al numero minimo censito di nidi attivi in ciascuna visita. Di ognuna delle due visite si è considerato, per ottenere la stima della popolazione nidificante in laguna aperta, il valore maggiore tra i due. A supporto delle attività condotte da imbarcazione e soprattutto al fine di individuare la presenza di colonie medio-grandi eventualmente sfuggite all'osservazione, è stato effettuato nel mese di giugno di ciascun anno un rilievo aereo della laguna aperta. Il volo è stato effettuato con velivolo Partenavia P66/C, ad ala alta. La quota di volo è stata di circa 1000 piedi; in base alle norme di sicurezza non è consentito scendere a quote più basse. In aereo hanno preso posto il pilota ed uno o due rilevatori, muniti di binocolo e macchine fotografiche.
Nelle barene artificiali si è proceduto invece al censimento delle specie di elevato valore conservazionistico, ossia le specie acquatiche nidificanti che risultano: 1) incluse nell'Allegato 1 della Direttiva Uccelli 2009/147/CE e/o 2) aventi qualifica di "specie minacciata" (ossia con status di CR-Critically Endangered, EN-Endangered o VU-Vulnerable) nella recente Lista Rossa 2011 degli Uccelli Nidificanti Italiani, curata da Peronace *et al.* (2012). Le specie che soddisfano i criteri descritti sono volpoca *Tadorna tadorna*, cavalie-

3. Gruppo di barene artificiali in corso di ultimazione (Volo SELC, foto I. Cavalli).

4. Barene artificiali realizzate da oltre venti anni (Volo SELC, foto I. Cavalli).

re d’Italia, avocetta e fratino *Charadrius alexandrinus* oltre a gabbiano comune, gabbiano corallino, fraticello, beccapesci e sterna comune. In base alla Lista Rossa degli Uccelli Italiani, quattro specie sono considerate “minacciate”, di cui due “in pericolo-EN” e due “vulnerabili-VU”. Tra le specie monitorate fratino e fraticello sono quelle che in Italia hanno lo status di conservazione più critico, seguite da volpoca e beccapesci.
Ciascuna barena artificiale è stata visitata due volte nel periodo maggio-luglio. Il metodo per i censimenti, in accordo con quanto eseguito negli ultimi anni (Scarton *et al.*, 2013a e 2013b), è stato il seguente:

- controllo con binocolo 10-12 x 50 o cannocchiale 30-60 x 70 da una distanza di 200-300 metri, usualmente da imbarcazione o in alcuni limitati casi da terra, al fine di una preliminare verifica delle specie presenti, quindi prima che queste reagiscano alla presenza dell’osservatore;
- una volta scesi, i rilevatori hanno percorso l’intera estensione delle barene artificiali, stimando il numero di coppie o di singoli adulti presenti e contando il numero di nidi attivi rinvenuti.

Le visite ai siti di nidificazione hanno avuto sempre durata inferiore ai 45 minuti e sono state effettuate tra le 8 e le 14, in condizioni meteo buone e in assenza di alte maree sostenute. Il grado di certezza circa la presunta nidificazione delle specie presenti è diverso a seconda del tipo di osservazioni effettuato. Di seguito si specificano le tre categorie che sono state utilizzate, con livelli di certezza crescente, in accordo con i Progetti Atlante recentemente condotti a livello locale e nazionale (ad es. Bon *et al.*, 2014 per la provincia di Venezia):

- nidificazione possibile: specie osservata durante la stagione riproduttiva in ambiente adatto e al di fuori dei periodi migratori;
- nidificazione probabile: coppia osservata in ambiente e periodo riproduttivo favorevoli; territorio permanente, presunto dal rilevamento di comportamento territoriale ripetuto più volte nella stessa stagione; adulti in corteggiamento; parata, esibizione o visita a un possibile sito di nidificazione; comportamento irrequieto o richiami di allarme da parte di adulti;
- nidificazione certa: parata di distrazione o simulazione di ferita; nido usato o gusci d’uovo vuoti deposti durante il periodo dell’indagine; giovani non volanti o involati recentemente o pulcini con piumino; adulti visti in incubazione; adulti con imbeccata, nido con uova, nidi con giovani visti o sentiti.

In questo capitolo si sono considerate “nidificanti” in un sito solo le specie per le quali sono stati raccolti indizi di nidificazione “probabile” o “certa”. Il numero di coppie presenti in ciascun sito è stato quindi stimato sulla base del numero di nidi con uova e pulcini o del numero di adulti che attuavano i comportamenti sopra descritti. Si tratta quindi di un risultato che tiene conto sia di dati oggettivi (il numero di nidi attivi) che di un giudizio esperto (il numero di coppie desunto dagli adulti allarmanti) e come tale deve ritenersi più correttamente una stima, più che un vero e proprio censimento. Come per le barene naturali, si è considerato il valore maggiore tra i due minimi.
Nei censimenti delle specie acquatiche coloniali sono insite alcune inevitabili imprecisioni, che possono dipendere sostanzialmente da:

- errori nel conteggio dei nidi; mancata osservazione di nidi, nascosti tra la vegetazione; differenze intrinseche dovute ad operatori diversi. Queste limitazioni sono poco rilevanti nel monitoraggio lagunare, in quanto si tratta quasi sempre di colonie medio-piccole;
- diverso calendario di nidificazione tra specie che nidificano in uno stesso sito. La sfa-

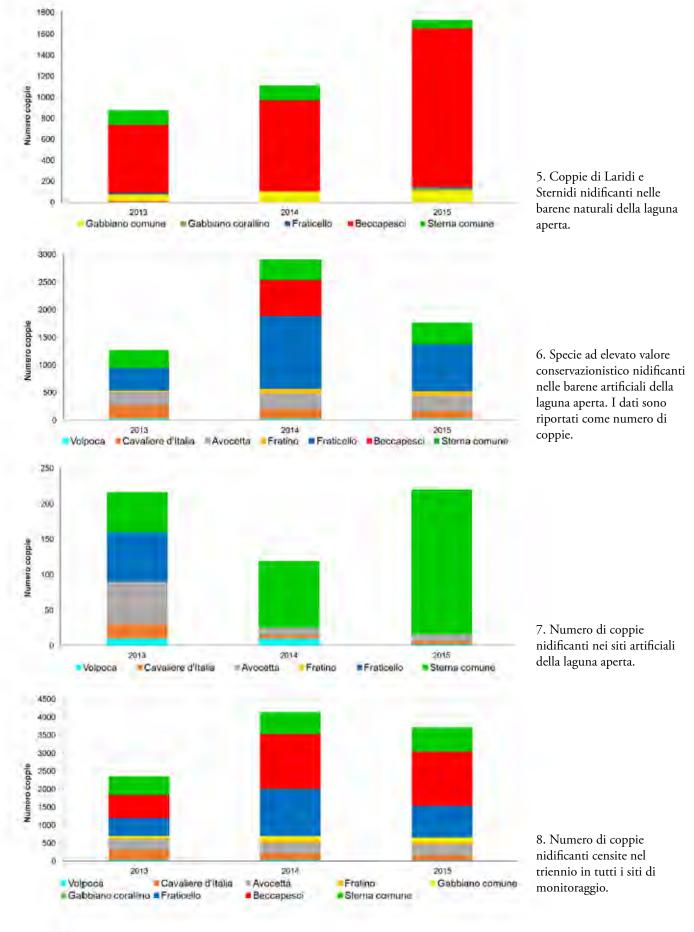
satura tra le diverse specie spiega la necessità di effettuare almeno due visite nel corso della stagione riproduttiva, per stimare il numero "vero" di coppie che si sono riprodotte in un determinato sito;
- scomparsa di una colonia, generalmente a causa di forte maltempo, e successivo reinsediamento delle coppie o parte di esse nello stesso sito o in altri siti, in precedenza non occupati. Questo può portare a doppi conteggi delle stesse coppie. Per questo motivo si è preferito effettuare le "prime visite" tra i primi di maggio e inizio giugno e tutte le "seconde visite" tra la metà di giugno e fine luglio; intervalli di censimento più ristretti, benché auspicabili, sono in pratica improponibili data l'ampia superficie lagunare e l'elevato numero di siti da monitorare.

Per la valutazione dei trend di popolazione sul medio e lungo periodo si è utilizzato il software TRIM (Trends and Indices for Monitoring data-versione 3.53: Pannekoek and Van Strien, 2005), appositamente ideato per l'analisi di dati provenienti da monitoraggi ornitologici e largamente utilizzato nella recente letteratura scientifica (ad es. Longoni *et al.*, 2014). Il software classifica i trend in sei possibili categorie in base alla presenza, o meno, di variazioni annue statisticamente significative e superiori al 5%. Le categorie codificate nell'output del software sono: incremento marcato/incremento moderato/stabilità/diminuzione moderata/diminuzione marcata/andamento incerto. Il software restituisce anche un valore di probabilità. In base a quanto suggerito da Voříšek *et al.* (2008), poiché si sono analizzati censimenti completi nel tempo e nello spazio, è stata scelta l'opzione "Time Effects Model", con il comando "overdispersion" impostato su "off" e quello "serial correlation" su "on".

Risultati

La disponibilità di dati pienamente confrontabili per un triennio consente di valutare in modo esauriente le dimensioni delle popolazioni nidificanti, che nel caso degli uccelli acquatici possono notoriamente evidenziare forti fluttuazioni da un anno all'altro. Di seguito si riassumono i risultati salienti per il triennio 2013-2015, articolati prima secondo le tre tipologie di sito di nidificazione e successivamente riassunti per singola specie. Analisi sul lungo (1989-2015) o medio (2006-2015) periodo vengono esposte nelle pagine successive.

Le colonie sulle barene naturali

Ogni anno sono state censite da quattro a cinque colonie, costituite da un minimo di 10 coppie e un massimo di 1549 coppie. La media nel triennio è risultata pari a 264 coppie (deviazione standard = ± 457.5) mentre la mediana, molto più bassa, si è assestata su 42 coppie a causa della presenza di 3 sole colonie di grandi dimensioni mentre le altre risultavano composte da un numero di coppie variabile tra 10 e 305. Le colonie erano ubicate quasi esclusivamente nel bacino lagunare centro-meridionale; l'unica eccezione è costituita da una piccola colonia ubicata nei pressi di Murano. In ciascuno dei tre anni la colonia di maggiori dimensioni si trovava sempre nella stessa barena, che viene occupata pressoché ininterrottamente da oltre venti anni.
L'andamento osservato nel triennio evidenzia un incremento delle presenze, con valori raddoppiati dal 2013 al 2015; l'incremento si deve soprattutto al beccapesci, che ha più che raddoppiato le proprie presenze (figura 5). Con circa 1000 coppie mediamente presenti nel triennio, questa specie è di gran lunga la più abbondante tra quelle che si riproducono sulle barene naturali. Per altre quattro specie, i valori medi risultano pari

5. Coppie di Laridi e Sternidi nidificanti nelle barene naturali della laguna aperta.

6. Specie ad elevato valore conservazionistico nidificanti nelle barene artificiali della laguna aperta. I dati sono riportati come numero di coppie.

7. Numero di coppie nidificanti nei siti artificiali della laguna aperta.

8. Numero di coppie nidificanti censite nel triennio in tutti i siti di monitoraggio.

a 117 coppie per la sterna comune, a 90 coppie per il gabbiano comune e a poco più di 9 coppie per il fraticello e il gabbiano corallino. Non sono state accertate nidificazioni di altre specie, sebbene vi siano state sporadiche osservazioni di una rarissima Sterna di Rueppell *Sterna bengalensis* nei pressi di una colonia della laguna sud.

Le specie nidificanti sui siti di origine artificiale

Durante i tre anni di indagine circa 50 barene artificiali, delle 120-130 presenti, sono state utilizzate per la riproduzione da una o più delle specie considerate. Il numero massimo di specie presenti in una barena artificiale è stato pari a 5; delle 9 specie target soltanto due (gabbiano comune e gabbiano corallino) non hanno mai nidificato in una barena artificiale. La figura 6 presenta il totale delle coppie nidificanti nel triennio in esame: si può osservare il picco raggiunto nel 2014 e la preponderanza del fraticello rispetto alle altre specie. Il beccapesci ha nidificato in massa solo nel 2014, mentre le rimanenti specie hanno utilizzato le barene artificiali in tutto il triennio. Mediamente, ogni anno hanno nidificato 1982 (± 845) coppie.
Come specificato nel paragrafo "Area di studio" nell'eterogenea categoria definita "siti di origine artificiale" rientrano tutte le altre tipologie di siti di nidificazione accumunati dall'avere origine prettamente artificiale. Sei specie hanno utilizzato questi siti in misura più o meno regolare. Tra tutti spicca l'Isola delle Tresse, ubicata nella II Zona Industriale di Marghera e che, pur essendo tuttora utilizzata per lo stoccaggio controllato di fanghi provenienti dal dragaggio di canali della città di Venezia, è stata scelta come sito di nidificazione da diverse specie. La figura 7 evidenzia la preponderanza numerica, nei siti artificiali, della sterna comune, seguita dal fraticello; la media annuale è, nel complesso, di 185 (± 57.2) coppie.

Andamento nel triennio di monitoraggio

In media sono state censite 3.404 coppie (± 933.2), con un netto incremento tra il 2013 e il 2014 seguito da un assestamento nell'anno successivo (figura 8). La variazione si deve al nuovo insediamento nel 2014 di quasi 900 coppie di beccapesci e di altrettante di fraticello; quest'ultima specie è peraltro diminuita l'anno successivo, in accordo con le tipiche forti fluttuazioni interannuali che le sono proprie.
Da osservare che l'insieme delle rimanenti sette specie è risultato estremamente stabile, essendo compreso tra un minimo di 1.222 coppie (anno 2013) e un massimo di 1.342 (anno 2015). Questa stabilità non si riferisce a tutte le specie: volpoca e cavaliere d'Italia sono risultate infatti in calo mentre gabbiano comune e sterna comune in discreto aumento.

Andamenti e distribuzione per ciascuna specie

Dopo aver analizzato i dati secondo le tre tipologie di ambienti di nidificazione, vengono valutate le informazioni raccolte per ognuna delle nove specie oggetto di monitoraggio. Ad integrazione dei dati ottenuti nel triennio sono state aggiunte altre informazioni o stime relative a siti non monitorati, quali le barene naturali che non presentavano colonie di Laridi o Sternidi e le casse di colmata B e D/E e le valli da pesca. Per i litorali sono invece disponibili dati ornitologici ottenuti in altra linea di monitoraggio (Coccon e Baldaccini, 2017 questo volume). Nella perdurante assenza di censimenti esaustivi per l'intera laguna di Venezia, che quindi includano anche le valli da pesca, si sottolinea che le stime di seguito presentate circa l'entità delle diverse popolazioni lagunari vanno considerate con la necessaria cautela.

Volpoca

Per questa specie perdura e si incrementa negli anni il divario tra il numero di individui adulti o subadulti osservati nella laguna aperta durante il periodo primaverile-estivo, dell'ordine delle diverse centinaia e sempre più rilevante, e l'effettivo numero delle coppie nidificanti. La popolazione nidificante nel complesso dei siti monitorati permane infatti su livelli modesti, circa 30 coppie. Non si sono osservate nidificazioni nelle barene naturali occupate dalle colonie di Laridi e Sternidi, ma è certo che alcune coppie di volpoca si riproducono in altre barene naturali; è inoltre presente un buon nucleo di nidificanti nelle casse di colmata B e D/E, oltre che in alcune valli da pesca. Complessivamente la popolazione lagunare può essere stimata a meno di 100 coppie.

Cavaliere d'Italia

La diffusione di questa specie sulle barene artificiali è buona, con una media nel triennio di circa 200 coppie. Altre colonie sono state rilevate su alcune barene naturali e nel settore centro-meridionale della cassa di colmata D/E. La specie nidifica anche in diverse valli da pesca; si può pertanto stimare la presenza nell'intero bacino lagunare di 400-600 coppie.

Avocetta

La presenza di questa specie nel complesso dei siti monitorati è risultata rilevante, con una media nel triennio di 300 coppie. Pochissime coppie sono invece presenti nelle rimanenti barene naturali; modesta la presenza nelle casse di colmata, mentre sono note diverse colonie nelle valli da pesca. Si può pertanto stimare nidifichino 500-600 coppie nell'intera laguna.

Fratino

Di notevole interesse risulta la presenza sulle barene artificiali di circa 60 coppie, distribuite in una quindicina di siti. Scarsissimo invece il numero di coppie negli altri comparti lagunari: non è mai stata osservata nidificare nelle barene naturali e qualche coppia è forse presente in alcune valli da pesca, ma non sono disponibili dati di dettaglio. I litorali veneziani hanno ospitato nel 2013-2015 al massimo una ventina di coppie (Coccon e Baldaccini, 2017 questo volume). L'intera popolazione lagunare nel triennio 2013-15 si dovrebbe aggirare tra le 80 e le 100 coppie.

Gabbiano comune

Attualmente è l'unica specie, tra i Laridi e gli Sternidi della laguna aperta, che non si riproduce sulle barene artificiali; è probabile che la sua marcata preferenza per i margini di "ghebi" e "chiari" con folta vegetazione alofila sia una delle cause, essendo questo particolare ambiente ben poco diffuso nelle barene artificiali. Nelle barene naturali sono state osservate circa 90 coppie. È nota la nidificazione del gabbiano comune in due valli da pesca della laguna nord (Valle Sacchetta e Valle Saccagnana), dove sono presenti almeno 70-80 coppie. Di conseguenza l'intera popolazione lagunare può essere stimata a 160-170 coppie.

Gabbiano corallino

Questa specie è risultata pressoché assente nel triennio in esame dalla laguna aperta, con solo dieci coppie che si sono riprodotte su una-due barene naturali. Da pochi anni è nota la presenza del gabbiano corallino in almeno due valli da pesca della laguna nord, le già citate Sacchetta e Saccagnana. Complessivamente si può stimare per tutta la laguna una popolazione di 210-310 coppie.

Fraticello

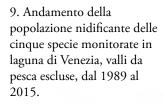
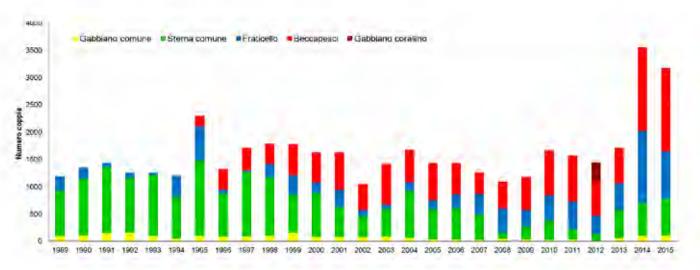
Da diversi anni la specie ha praticamente abbandonato il complesso delle barene naturali come sito di nidificazione seguendo un comportamento già evidenziato da molti anni nei litorali, per nidificare esclusivamente su barene artificiali di recente realizzazione (Scarton e Valle, 2015). Nella laguna aperta hanno nidificato circa 900 coppie, con un picco di 1.315 nel 2014. Il fraticello si riproduce regolarmente in diverse valli da pesca, mentre nel periodo 2013-2015 le sue presenze lungo i litorali si sono pressoché azzerate (Coccon e Baldaccini, 2016). L'intera popolazione lagunare può essere stimata nel triennio 2013-2015 a 1200-1300 coppie, in netto aumento rispetto agli anni precedenti.

Beccapesci

Il beccapesci non aveva mai utilizzato siti artificiali per nidificare; nel 2014 una colonia di grandi dimensioni, è probabile si trattasse della maggiore di tutt'Italia, si è insediata su una barena artificiale nei pressi di Murano. Nel triennio la specie ha comunque preferito le barene naturali. La nidificazione di poche coppie nelle valli da pesca è risultata del tutto occasionale per cui l'abbondanza totale per l'intera laguna di Venezia coincide con quella relativa alla sola laguna aperta, quindi circa 1200 coppie.

Sterna comune

La sterna ha nidificato in laguna aperta con circa 600 coppie, di cui la maggior parte ubicata su barene artificiali e altri siti di origine antropica; l'insediamento su questa tipologia di siti è peraltro molto recente. Colonie di modeste dimensioni sono note in diverse valli da pesca, per cui la popolazione lagunare può essere stimata a 800-900 coppie.

9. Andamento della popolazione nidificante delle cinque specie monitorate in laguna di Venezia, valli da pesca escluse, dal 1989 al 2015.

Gli andamenti delle popolazioni di acquatici sul medio e lungo periodo

Andamento dei Laridi e degli Sternidi nidificanti nella laguna aperta: anni 1989-2015

Come scritto in precedenza, il monitoraggio dei Laridi e degli Sternidi nidificanti nella laguna aperta di Venezia è iniziato nel 1989; con i dati acquisiti nel 2015 si può disporre di una serie di 27 anni di dati, certamente sufficiente per evidenziare i trend di abbondanza delle popolazioni nel lungo periodo. Per un'analisi più dettagliata degli andamenti, benché relativi ad un periodo di poco più breve, si rimanda a Scarton e Valle (2015).
I risultati dei censimenti condotti nel periodo 1989-2015 nella laguna aperta e nei litorali, escludendo le sole valli da pesca, sono presentati nella figura 9.
Le abbondanze delle cinque specie nidificanti seguono evidenti fluttuazioni, con una periodicità di 6-7 anni piuttosto regolare fino al 2013; nel 2014 e 2015 si osserva il netto incremento dovuto a beccapesci e fraticello. Il grafico illustra anche gli andamenti delle singole specie; si può osservare la progressiva riduzione della sterna comune, culminata nel 2008, cui poi fa seguito un discreto recupero che iniziato nel 2012 risulta tuttora in atto. Molto diverso l'andamento per il beccapesci, insediatosi in laguna nel 1995 e successivamente aumentato fino al picco del 2014. La popolazione di fraticello è rimasta tra il 2007 ed il 2013 attorno alle 400 coppie, per poi quasi triplicare nel 2014 e diminuire parzialmente nell'anno successivo.
I gabbiani, sia il comune che il corallino, seguono andamenti molto diversi: il gabbiano

SPECIE	**Media 1989-2015**	**Deviazione standard**	**Media 2006-2015**	**Deviazione standard**
Gabbiano comune	78.0	42.9	45.9	34.4
Gabbiano corallino	14.0	67.3	37.9	109.8
Fraticello	323.2	277.8	533.1	321.7
Beccapesci	508.6	398.7	805.2	398.8
Sterna comune	689.3	344.1	388.8	207.9
Totale popolazione	**1613.1**	**573.7**	**1810.9**	**846.3**

Tabella 1. Numero medio di coppie nidificanti sull'intero periodo di monitoraggio e negli ultimi dieci anni.

SPECIE	**Giudizio**	**Variazione annua %**	**P**
Gabbiano comune	Forte incremento	+ 10.9	<0.01
Fraticello	Forte incremento	+ 12.6	<0.01
Beccapesci	Forte incremento	+ 11.7	<0.01
Sterna comune	Moderato incremento	+ 5.8	<0.01
Totale popolazione	Forte incremento	+ 10.4	<0.01

Tabella 2. Trend per le quattro specie di Laridi e Sternidi nidificanti con regolarità e per il totale popolazione (cinque specie): anni 2006-2015. Viene riportato anche il giudizio ottenuto mediante il software TRIM riguardo al trend.

SPECIE	**Giudizio**	**Variazione annua %**	**P**
Gabbiano comune	Incerto	- 5.5	-
Fraticello	Forte incremento	+ 6.8	<0.01
Beccapesci	Forte incremento	+ 5.5	<0.01
Sterna comune	Forte decremento	- 5.3	<0.05
Totale popolazione	Moderato incremento	+ 1.5	<0.01

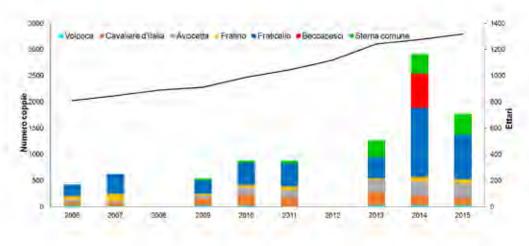
Tabella 3. Trend per le quattro specie di Laridi e Sternidi nidificanti con regolarità e per il totale della popolazione, includendo anche il gabbiano corallino: anni 1989-2015. Viene riportato anche il giudizio ottenuto mediante il software TRIM riguardo al trend.

comune, tradizionale utilizzatore delle barene naturali, ha una popolazione sempre modesta; il gabbiano corallino, nuovo colonizzatore della laguna, dopo pochi anni si sposta *en masse* nelle valli da pesca, abbandonando per motivi sconosciuti le certamente più insidiose barene naturali. In Tabella 1 si presentano le abbondanze medie di coppie nidificanti relative all'intero periodo e all'ultimo decennio per ciascuna specie.
Per verificare la significatività statistica dei diversi andamenti descritti, sono stati elaborati con il software TRIM sia i dati relativi all'intero periodo disponibile (1989-2015) che quelli relativi all'ultimo decennio (2006-2015), più adatti a descrivere la situazione recente delle diverse specie. I risultati sono presentati nelle Tabelle 2 e 3; non è stato analizzato il trend per il gabbiano corallino, perché presente in un numero troppo esiguo di anni.
Il quadro che ne risulta è certamente positivo nel breve periodo: tutte le quattro specie considerate risultano in aumento, con tassi di crescita annui che raggiungono il 12.6% per il fraticello. Nel lungo periodo la situazione appare più articolata: fraticello, beccapesci e sterna comune incrementano le proprie popolazioni, mentre la sterna comune risente della fase di forte calo osservata nei primi anni Duemila, che stava portando alla totale scomparsa di questa specie dalla laguna aperta. Numeri esigui e forti variazioni interannuali non consentono di esprimere giudizi statisticamente significativi per il gabbiano comune. L'intera popolazione di Laridi e Sternidi risulta, nel lungo periodo, in moderato incremento seppure con un tasso annuo molto contenuto.

La specie nidificanti sulle barene artificiali: anni 2006-2015

Per le specie considerate di interesse conservazionistico si dispone di dati relativi alle barene artificiali dal 2006 fino, con qualche lacuna, al 2015 (figura 10).
La popolazione nidificante appare in regolare crescita tra il 2006 ed il 2013, certamente anche in funzione dell'estensione sempre maggiore di barene artificiali. Negli ultimi due anni si osserva un brusco aumento nel 2014 ed un calo nell'anno successivo. I dati evidenziano la consolidata importanza che le barene artificiali hanno acquisito per l'avifauna acquatica di pregio, soprattutto per fraticello, cavaliere d'Italia e avocetta.

Conclusioni

I risultati acquisiti nel corso del 2013-2015 hanno permesso di quantificare la distribuzione e l'abbondanza di nove specie di interesse conservazionistico in laguna di Venezia. Si è potuto documentare come alcune specie evidenzino popolazioni stabili mentre altre presentano forti fluttuazioni tra un anno all'altro. Ciò non può che confermare l'impor-

10. Estensione delle barene artificiali (linea continua) e numero coppie in esse nidificanti. Non sono disponibili dati per il 2008 e il 2012.

tanza di monitoraggi ad elevata frequenza, se non annuale almeno biennale, per le specie di uccelli acquatici presenti in un'area così vasta e diversificata come la laguna aperta.
Ulteriori e concomitanti indagini sarebbero certamente necessarie per valutare correttamente le variazioni osservate e, soprattutto, individuarne le cause scatenanti. È auspicabile si vada a studiare la dieta delle specie prettamente ittiofaghe, valutare il successo riproduttivo, analizzare la distribuzione spaziale degli adulti durante il periodo della nidificazione mediante l'utilizzo di individui marcati con anelli colorati, ancor meglio se dotati di trasmettitori radio o satellitari. Queste indagini, ormai comuni in zone umide europee ed extraeuropee, non sono mai state condotte nel bacino lagunare, a sfatare l'opinione ricorrente e diffusa "che ormai in laguna tutto sia stato studiato".
Per le specie qui considerate, che presentano nicchie ecologiche più o meno ampie e in alcuni casi molto diverse tra loro, il quadro che emerge è generalmente positivo: molte sono stabili o in incremento sul breve (2013-2015), medio (1996-2015) e lungo (1989-2015) periodo, a conferma che le condizioni ambientali della laguna aperta e delle acque marine ad essa prossime sono tuttora molto favorevoli alla presenza di importanti nuclei di specie di uccelli di interesse conservazionistico.
Non mancano tuttavia elementi di possibile criticità come la scomparsa pressoché totale del fraticello dai litorali veneziani, la forte riduzione del fratino negli stessi habitat e la progressiva riduzione della popolazione di cavaliere d'Italia nelle barene artificiali.
Le barene naturali si confermano aree di elevato valore per la nidificazione di una delle specie più importanti sotto il profilo conservazionistico, come il beccapesci; per questo sternide la laguna ospita la popolazione più grande in Italia e molto probabilmente una delle maggiori del Mediterraneo. Le barene artificiali ospitano invece la maggioranza, in alcuni casi la totalità, delle coppie di un'altra specie di particolare valore, quale il fraticello; la sua popolazione lagunare nel corso degli ultimi trent'anni ha cambiato l'habitat di nidificazione, passando dalle spiagge del litorale veneziano alle barene naturali prima e a quelle artificiali nell'ultimo decennio. È probabile che ciò costituisca una risposta adattativa rispettivamente al disturbo antropico sui litorali ed alla sempre più frequente sommersione delle barene naturali nel periodo primaverile-estivo.
I risultati acquisiti nel corso del monitoraggio 2013-2015 permettono di aggiornare la valutazione dell'importanza, sotto il profilo meramente quantitativo, delle popolazioni nidificanti nell'area oggetto di indagine e nell'intera laguna di Venezia rispetto al totale italiano. Le stime ufficiali più recenti per le popolazioni di tutte le specie nidificanti in Italia sono quelle pubblicate in Nardelli *et al.* (2015). Come specificato dagli stessi Autori di quella pubblicazione, in diversi casi i dati ufficiali si riferiscono in realtà all'inizio del Duemila, non essendovi né stime né soprattutto censimenti più recenti; ciò a dimostrazione delle gravi lacune che tuttora affliggono le conoscenze faunistiche, anche ornitologiche, nel nostro Paese. È evidente pertanto che i confronti presentati vanno presi con

	Siti di monitoraggio	**Altre aree lagunari (stima)**	**Totale laguna Venezia**	**Italia**
Volpoca	30	50-70	80-100	300
Cavaliere d'Italia	200	200-400	400-600	3000-4000
Avocetta	300	200-300	500-600	1900-2000
Fratino	60	20-30	80-90	1500-1900
Gabbiano comune	90	60-90	150-180	500-1000
Gabbiano corallino	10	200-300	210-310	2500-4000
Fraticello	900	300-400	1200-1300	2000-3500
Beccapesci	1200	0	1200*	800
Sterna comune	600	200-300	800-900	4000-5000

*La popolazione lagunare nel triennio risulta superiore alle ultime stime italiane.

Tabella 4. Numero medio di coppie nidificanti nel 2013-15 per i siti monitorati, totale stimato per la laguna di Venezia e confronto con le stime (Nardelli *et al.*, 2015) disponibili per l'Italia.

cautela, essendo diversi i periodi di indagine, e possono portare ad evidenti incongruenze; eclatante è il caso del beccapesci, per il quale in laguna di Venezia è presente negli ultimi anni una popolazione superiore a quanto ufficialmente stimato per l'intera Italia.
Con queste necessarie premesse, nella Tabella 4 si sintetizzano i dati ornitologici raccolti nell'ambito dei monitoraggi finora condotti, unitamente a stime per le aree non direttamente interessate (barene non utilizzate da Laridi e Sternidi; casse di colmata B e D/E; valli da pesca), al totale per l'intera laguna di Venezia e alle stime per tutt'Italia.
Si può osservare come per tutte le specie la laguna ospiti almeno l'1% del totale nazionale, una soglia spesso utilizzata per definire un sito di importanza nazionale per gli uccelli acquatici. Sette specie su nove superano il 10% del totale, mentre per fraticello e beccapesci i valori sono ben superiori al 50% del totale italiano.
In conclusione, si auspica che oltre alle necessarie attività di monitoraggio standardizzato vengano adottate nel bacino lagunare le necessarie attività di gestione e conservazione dei siti, siano essi naturali o artificiali, che vengono utilizzati per la nidificazione da queste importanti popolazioni di uccelli acquatici.

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va ai colleghi (M. Baldin, E. Checchin, D. Longo) che hanno condiviso le numerose uscite in campo.

Volpoca (foto F. Scarton).

Cavaliere d'Italia (foto F. Scarton).

Avocetta (foto F. Scarton).

Pulcino di fratino (foto F. Scarton).

Gabbiano comune (foto F. Scarton).

Gabbiani corallini (foto F. Scarton).

Pulli di fraticello (foto F. Scarton).

Beccapesci (foto M. Basso).

Sterna comune (foto F. Scarton).

Bibliografia

Basso M. e Bon M. (2015) Censimento degli uccelli acquatici svernanti in provincia di Venezia, Gennaio 2015. Provincia di Venezia-Servizio Caccia e Pesca. Relazione non pubblicata.

Bon M. e Scarton F. (2012) Lo svernamento degli uccelli acquatici in provincia di Venezia (1993-2012). Provincia di Venezia-Assessorato alla caccia. 198 pp.

Bon M. e Stival E. (2013) Atlante ornitologico del comune di Venezia. Marsilio Editore.

Bon M., Scarton F., Stival E., Sattin L. e Sgorlon G. (a cura di) (2014) Nuovo atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Venezia, Associazione Faunisti Veneti, Museo di Storia Naturale di Venezia.

Brichetti P. e Foschi U.F. (2006) Evoluzione delle popolazioni di Laridae e Sternidae nidificanti nelle Valli di Comacchio nel periodo 1977-2001. Avocetta 30: 41-50.

Brunner A., Celada C. , Rossi P. and Gustin M. (2002) Sviluppo di un sistema nazionale delle ZPS sulla base delle rete delle IBA (Important Bird Areas). LIPU, 734 pp.

Coccon F. e Baldaccini N. E. (2017) Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del Sistema MOSE. In "Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia", Campostrini P., Dabalà C., Del Negro P., Tosi L. (editors), CORILA.

Fasola M. (red.) (1986) Distribuzione e popolazione dei Laridi e Sternidi nidificanti in Italia. Suppl. Ric. Biol. Selvaggina, 11.

Fasola M., Rubolini D., Merli E., Boncompagni E. and Bressan U. (2010) Long-term trends of heron and egret populations in Italy, and the effects of climate, human-induced mortality, and habitat on population dynamics. Popul Ecol 52:59–72.

Gagliardi A. e Tosi G. (a cura di) (2012) Monitoraggio di Uccelli e Mammiferi in Lombardia. Tecniche e metodi di rilevamento. Regione Lombardia, Università degli Studi dell'Insubria, Istituto Oikos.

Gariboldi A., Casale F. e Rizzi V. (2000) Aree importanti per l'avifauna in Italia, LIPU.

Longoni V., Rubolini D., Pinoli G., Fasola M. (2014) Andamento delle popolazioni di uccelli acquatici svernanti in Lombardia: 2002-2013. Rivista Italiana di Ornitologia. Research in Ornithology: 84: 3-66.

Manzi R., Stival E. e Tiloca G. (1992) Il cavaliere d'Italia (Himantopus himantopus) e l'avocetta nel Veneto (Recurvirostra avosetta). Regione del Veneto, 42 pp.

Mion D., Ghirelli L., Cazzin M., Cavalli I. e Scarton F. (2010) Vegetazione alofila in laguna di Venezia: dinamiche a breve e medio termine. Lavori Società Veneziana Scienze Naturali 35: 57-70.

Nardelli R., Andreotti A., Bianchi E., Brambilla M., Brecciaroli B., Celada C., Dupré M., Gustin F., Longoni V., Pirrello S., Spina F., Volponi S. e Serra L. (2015) Rapporto sull'applicazione della Direttiva 147/2009/CE in Italia: dimensione, distribuzione e trend delle popolazioni di uccelli (2008-2012). ISPRA, Serie Rapporti, 219/2015.

Pannekoek J. and. Van Strien A.J. (2005) TRIM 3 Manual Trends and Indices for Monitoring Data. Research paper no. 0102. CBS Voorburg. The Netherlands: Statistics Netherlands.

Peronace V., Cecere J.C., Gustin M. e Rondinini C. (2012) Lista Rossa 2011 degli uccelli nidificanti in Italia. Avocetta 36: 11-58.

Scarton F. (2005) Breeding Birds And Vegetation Monitoring In Recreated Salt Marshes Of The Venice Lagoon. In: Fletcher C. A. and Spencer T., (eds). Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon. State of Knowledge Cambridge University Press, Cambridge. 573-579.

Scarton F. (2008) Population Trend, Colony Size and Distribution of Little Terns in the Lagoon of Venice (Italy) between 1989 and 2003. Waterbirds 31: 35-41.

Scarton F. (2010) Long term decline of a Common Tern (Sterna hirundo) population nesting in salt marshes in Venice lagoon, Italy. Wetlands 30: 1153-1159.

Scarton F. and Montanari M. (2015) Use Of Artificial Intertidal Sites By Birds In A Mediterranean Lagoon And Their Importance For Wintering And Migrating Waders. Journal of Coastal Conservation 19: 321-334.

Scarton F. e Valle R. (1997) Laridae e Sternidae nidificanti in laguna di Venezia; anni 1995-1996. Riv. ital. Orn. 67: 202.204.

Scarton F. e Valle R. (1998) Osservazioni preliminari sulla biologia riproduttiva del Beccapesci Sterna sandvicensis in laguna di Venezia. Lavori Società Veneziana Scienze Naturali 23: 37-42.

Scarton F. and Valle R. (2015) Long-Term Trends (1989-2013) In The Seabird Community Breeding In The Lagoon Of Venice (Italy). Research in Ornithology 85: 21-30.

Scarton F., M. Baldin, and Valle R. (2009) L'avifauna acquatica nidificante nelle barene artificiali della laguna di Venezia. Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia 60: 127-141.

Scarton F., Borella S., Borgoni N., Richard J., Semenzato M. (1995) Interventi sperimentali per favorire la nidificazione di larolimicoli su barene artificiali in laguna di Venezia. Avocetta 19: 26.

Scarton F., Cecconi G., Cerasuolo C. and Valle R. (2013a) The importance of dredge islands for breeding waterbirds. A tree-year study in the Venice Lagoon (Italy). Ecological Engineering 54: 39-48.

Scarton F., Cecconi G. and Valle R. (2013b) Use of dredge islands by a declining European shorebird, the Kentish Plover Charadrius alexandrinus. Wetlands ecology and management 21: 15-27.

Scarton F., Curiel D., Rismondo A., Franco A., Franzoi P., Pranovi F., Zucchetta M. e Torricelli P. (2010) Risorse naturali e biodiversità. In Magistrato alle Acque di Venezia. Stato dell'ecosistema lagunare veneziano. Marsilio Editore: 103-145.

Scarton F., Semenzato M., Tiloca G., Valle R. (2000) L'avifauna nidificante nelle casse di colmata B e D/E (non-Passeriformes): situazione al 1998 e variazioni intercorse negli ultimi venti anni. Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia 50: 249-261.

Soldatini C., Albores-Barajas Y.V., Mainardi D. and Torricelli P. (2009) A widespread gull population in a complex wetland: habitat specific methods to census breeding pairs. Avocetta 33: 205-210.

Steinkamp M., Peterjohn B., Byrd V., Carter H. and Lowe R. (2003) Breeding Season Survey Techniques for Seabirds and Colonial Waterbirds throughout North America. http://www.waterbirdconservation.org./pubs/PSGManual03.PDF.

Vořišek P., Klvaňova A., Wotton S. and Gregory R.D. (editors) (2008) A best practice guide for wild bird monitoring schemes. First edition, CSO/RSPB.

Summary

The lagoon of Venice has been since many years recognized as a site of national, sometimes international, importance for birds, waterbirds in particular. Since 2007 it has been designated as a Special Protection Area, according to the 147/09 EU Birds Directive; for several species, the lagoon hosts breeding populations which make significant fractions of the whole Italian populations.

In the lagoon of Venice saltmarshes are nesting sites for several species of waders and seabirds; beside these intertidal habitats, man-made sites called "dredge islands" have gained considerable importance as breeding sites over the last twenty years. Colonies or single nests of the nesting species must often face the risk of being flooded or destroyed by high tides or wind-generated waves during the nesting season, which spans from early April to late July. For seabirds such as terns ad gulls a survey of the colonies occurring each year in the lagoon has been performed since 1989, resulting in one of the longest monitoring on birds made in Italy.

A detailed surveys of the breeding sites of nine species of conservation concern, i.e. listed as Vulnerable in the Italian Red List on in Annex I of the Birds Directive, has been made between 2013 and 2015; the main findings are presented here. The species considered were Shelduck *Tadorna tadorna*, Black-winged Stilt *Himantopus himantopus*, Avocet *Recurvirostra avosetta*, Kentish Plover *Charadrius alexandrinus*, Black-headed Gull *Chroicocephalus ridibundus*, Mediterranean Gull *Larus melanocephalus*, Little Tern *Sterna albifrons*, Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*, Common Tern *Sterna hirundo*.

A rich and diverse assemblage of species nested each year: on average, there were 3,400 breeding pairs, scattered among 4-6 saltmarshes and 50-60 dredge islands. Many waders and seabirds clumped together in colonies, which could range in size from a few pairs to about 1,500 pairs.

Colonies of gulls and terns have been regularly found each year, both at saltmarshes and dredge islands; the commonest species was the Sandwich Tern, with 1,200 pairs on average, followed by the Little Tern (900 pairs). For the former species, the lagoon of Venice is the most important Italian breeding site, and one of the largest in the whole Mediterranean; for the latter species, at least 50% of the estimated Italian population occurs at dredge islands. Seabird population trends over the medium (2006-2015) and long (1989-2015) periods show an increase in four species out of five. This indicates as the lagoon still offers suitable conditions, in terms of food resources and nesting places, for these species, which are important components of the ecosystem and may be used as environmental indicators.

Among waders, about 300 pairs of Avocet occur each year, only at dredge islands; the Black-winged Stilt is less abundant (200 pairs) and it is the only species which showed a population decrease in the study period. The occurrence of 60-90 pairs of Kentish Plover at dredge islands is remarkable, since this is the largest population of this species in the northern Adriatic, where once it was widespread in the littoral strip.

The results obtained during the 2013-2015 make a solid knowledge basis on abundance and distribution in the lagoon of Venice of nine species of environmental concern. This will be instrumental in evaluating possible future environmental changes due to, among other factors, the operational phase of the mobile barriers.

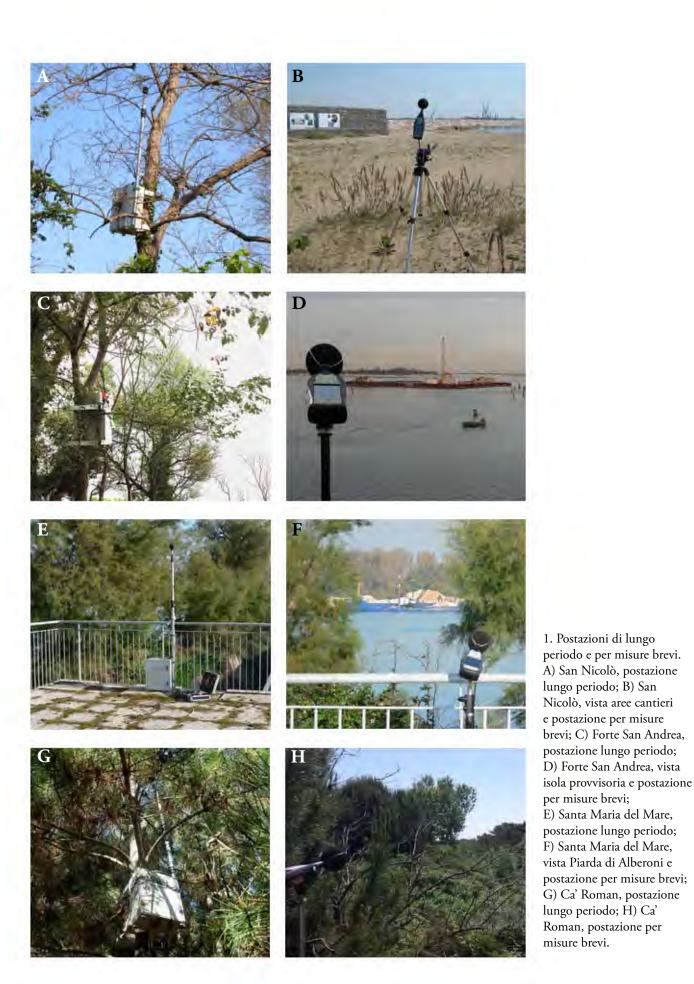
Il rumore prodotto dalle attività di cantiere durante la realizzazione del MOSE

Noise produced by the construction sites activities of the MOSE

Patrizio Fausti, Renzo Cremonini,
Maria Carmen Guerra, Giuliano Scalpelli Quiqueto,
Andrea Santoni, Nicolò Zuccherini Martello

Introduzione

Il rumore prodotto dalle attività di cantiere è generalmente considerato come un'attività temporanea ed è regolamentato in maniera diversa da quello di altre sorgenti. Per i cantieri, la legislazione italiana prevede la possibilità di ottenere deroghe rispetto ai valori limite previsti per le situazioni consuete, con applicazione di vincoli specifici ai livelli sonori e alla loro durata. In alcune situazioni, in particolare per cantieri di lungo periodo e per aree molto estese, è difficile trovare procedure semplici per applicare le deroghe. Nei casi in cui le aree di cantiere siano vicine ad aree naturali protette, con possibile impatto sull'avifauna e altri animali, è auspicabile individuare altre procedure per garantire che i livelli sonori rimangano inferiori alle soglie potenzialmente critiche.
Nel caso della costruzione del sistema di barriere mobili per la salvaguardia di Venezia e della sua laguna dalle acque alte, il rumore prodotto dai cantieri è una componente dell'impatto delle attività di costruzione che richiede un'accurata analisi. Tra le operazioni di cantiere necessarie per la realizzazione del MOSE che possono indurre un significativo inquinamento acustico si possono annoverare: battitura pali di consolidamento dei fondali, anche in considerazione del numero di pali battuti (circa 1500 per ogni canale di bocca); trivellazione orizzontale nei pressi dell'oasi di Alberoni, alla bocca di porto di Malamocco; dragaggio; preparazione di calcestruzzo, in particolare presso l'impianto di betonaggio di Ca' Roman, bocca di Chioggia; lavorazioni varie e di compattazione degli argini; movimentazione di materiali e pietrame nella piarda di Alberoni; realizzazione e successivo smantellamento dell'isolotto artificiale per l'esecuzione della teleguidata Lido-Arsenale, nei pressi del Forte Sant'Andrea (bocca di porto di Lido); circolazione di betoniere in ognuna delle bocche di porto, ecc.
Per questo motivo, nell'ambito del Piano di monitoraggio sono state inserite le misurazioni delle emissioni del rumore sia per valutare l'inquinamento acustico negli edifici residenziali situati in prossimità dei cantieri che per segnalare livelli sonori critici, così da ridurre il rischio di potenziali impatti sull'avifauna presente nelle aree naturalistiche circostanti, e mantenere un effetto sentinella nei confronti dei cantieri. Il monitoraggio del rumore ha avuto quindi i seguenti obiettivi:

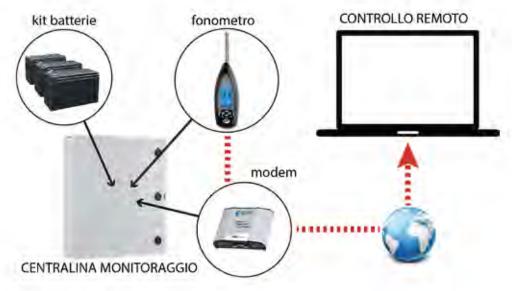
- verifica dei livelli sonori giornalieri, confronto con i limiti consentiti dalla legislazione ed eventuale emissione dei Rapporti di Anomalia;
- valutazione della propagazione del rumore dei cantieri nelle aree circostanti per l'individuazione delle sorgenti specifiche responsabili dei superamenti delle soglie;
- verifica delle attività rumorose nella fascia oraria protetta relativa al periodo di nidificazione e riproduzione degli uccelli;

1. Postazioni di lungo periodo e per misure brevi. A) San Nicolò, postazione lungo periodo; B) San Nicolò, vista aree cantieri e postazione per misure brevi; C) Forte San Andrea, postazione lungo periodo; D) Forte San Andrea, vista isola provvisoria e postazione per misure brevi; E) Santa Maria del Mare, postazione lungo periodo; F) Santa Maria del Mare, vista Piarda di Alberoni e postazione per misure brevi; G) Ca' Roman, postazione lungo periodo; H) Ca' Roman, postazione per misure brevi.

- verifica dei livelli sonori su intervalli temporali brevi, per migliorare il processo di identificazione delle situazioni critiche che potrebbero creare disturbo all'avifauna o mascheramento del canto;
- indicazione delle possibili misure di mitigazione.

Nella fase iniziale del monitoraggio è stata effettuata la valutazione del clima acustico esistente nelle aree oggetto degli interventi in assenza di attività cantieristica ("stato zero") e, con l'inizio delle attività di costruzione delle barriere mobili del Sistema MOSE, a fine 2004 è stato avviato il monitoraggio vero e proprio delle emissioni di rumore. Esso è stato effettuato per lunghi periodi (minimo una settimana) con campionamento in continuo in concomitanza dello svolgimento delle attività di cantiere più rumorose. La battitura pali e la trivellazione orizzontale delle canalizzazioni di cavi sono due esempi di attività particolarmente impattanti (la prima per intensità e durata, la seconda per durata e vicinanza alle aree naturali protette) per le quali sono stati eseguiti monitoraggi ripetuti negli anni ed analisi dettagliate.
Oltre alle misure in continuo, le misurazioni di breve durata hanno permesso la creazione di un database di sonogrammi attraverso cui, durante gli anni di monitoraggio, è stato possibile riconoscere facilmente la maggior parte delle lavorazioni effettuate dai cantieri. Per far fronte alle incertezze nelle rilevazioni (nuove lavorazioni, di attività contemporanee, o di eventi estranei al cantiere che generano livelli sonori significativi) queste misurazioni sono state corredate con la registrazione dell'audio; la registrazione sonora permette anche di effettuare ulteriori analisi in post processing, che hanno contribuito per esempio a investigare più approfonditamente il fenomeno di mascheramento delle attività di cantiere sul canto dell'avifauna.
La trattazione delle pagine seguenti riporta dapprima una descrizione di materiali e metodi con una breve sintesi delle apparecchiature utilizzate, l'indicazione della metodica di analisi dei dati e la descrizione della procedura per la valutazione del possibile mascheramento del canto degli uccelli. Nella seconda parte si riportano alcune considerazioni sui risultati del monitoraggio ambientale del rumore e delle verifiche fatte, facendo riferimento ad alcuni casi e lavorazioni specifiche, alla caratterizzazione di sorgenti sonore e di interventi di mitigazione. In appendice sono stati riportati i riferimenti normativi e legislativi principali, a livello europeo e nazionale.

Materiali e metodi

Strumentazione di misura

L'acquisizione dei dati acustici è stata effettuata impiegando dei fonometri, strumenti per la misurazione dei livelli di pressione sonora e degli spettri, con l'espressione dei risultati nella scala dei decibel (dB). Il microfono rappresenta il trasduttore fonometrico in grado di convertire la pressione acustica in un segnale elettrico. Il microfono è collegato a un preamplificatore che adatta l'impedenza in uscita minimizzando le perdite di segnale.
Tali strumenti permettono di rilevare sia i livelli sonori istantanei (con le varie costanti di tempo fast, slow, impulse, ecc.) che i livelli sonori equivalenti, cioè basati su una media energetica in un intervallo di tempo. I livelli sonori equivalenti sono quelli che si utilizzano generalmente per il confronto con i limiti di legge (per la descrizione della normativa vigente, si veda APPENDICE – Quadro normativo e legislativo).
La strumentazione deve essere calibrata, con apposito calibratore acustico, prima dell'inizio e al termine di ogni misurazione. Inoltre è necessario tarare il sistema di misura

2. Schema della catena di misura allestita per i monitoraggi di lungo periodo.

ogni due anni presso un laboratorio accreditato.
Per monitorare la rumorosità del cantiere sono stati effettuati rilievi in continuo, in periodi che presentavano particolari criticità. Sin della prima campagna di misurazione, avvenuta alla fine del 2004, per intervenire tempestivamente al verificarsi di rumori eccedenti i limiti o altre anomalie della strumentazione, è stato implementato un sistema di monitoraggio con la possibilità di accedere da remoto alla *time history* del livello di pressione sonora misurato in tempo reale (figura 2).
L'unità di monitoraggio utilizzata per il cantieri del Sistema MOSE è costituita da un fonometro integratore collegato a un modem di trasmissione dati, entrambi alimentati da un kit di batterie al piombo che garantiscono un autonomia fino a 2 settimane. Il tutto è inserito all'interno di un box in materiale plastico, adatto all'esposizione di eventi climatici e dotato di sistema di allacciamento a palo e un'asta di sostegno per unità microfonica da esterno (figura 2). Sono stati utilizzati fonometri integratori modello SOLO della 01dB, di classe I, con campionamento al secondo e analizzatore di spettro in bande di terzi di ottava. Il fonometro analizzatore è dotato di trasduttore microfonico da campo libero modello 212 della MCE e di unità per misure in ambiente esterno composta da uno schermo anti-vento e anti-pioggia e da un sistema para-uccelli. I dati misurati vengono trasmessi in tempo reale ad un server dedicato, attraverso il protocollo GPRS, utilizzando la rete GSM. È possibile accedere al server on line per visualizzare i profili temporali misurati in tempo reale oppure definendo *query* su specifici periodi (figura 3). È inoltre possibile scaricare i dati per una successiva elaborazione che permette di ottenere gli spettri sonori e i sonogrammi. Gli stessi dati vengono inviati dal sistema giornal-

3. Esempio di visualizzazione da remoto della *time history* del livello di pressione sonora misurato da una centralina di monitoraggio in tempo reale.

mente a una serie di indirizzi e-mail prestabiliti.
In affiancamento al monitoraggio in continuo sono state effettuate misurazioni di breve durata, generalmente tra i 15 e i 30 minuti, con lo scopo di individuare le caratteristiche della rumorosità indotta da certe lavorazioni di cantiere e successivamente essere in grado di riconoscere tali attività dai sonogrammi forniti dalle centrali di monitoraggio di lungo periodo. Nel caso delle misurazioni di breve durata, infatti, è sempre presente un operatore sul luogo di monitoraggio che può annotare ogni singolo evento che influenza i livelli di pressione misurati. Facendo affidamento solo ai dati accessibili da remoto, invece, può essere difficile associare in modo inequivocabile un sonogramma a una specifica attività.
Per le misurazioni di breve durata è stato generalmente utilizzato un fonometro B&K modello 2250, in grado di acquisire tutti i parametri acustici necessari per eseguire qualsiasi tipo di analisi dei dati acustici e di eseguire contestualmente la registrazione audio del segnale.
Nell'ultimo periodo di monitoraggio è stato utilizzato anche un fonometro di ultima generazione, modello DUO della 01dB, che integra, all'interno della scocca protettiva, una centralina di monitoraggio completa. L'innovazione principale introdotta in questa nuova generazione di strumenti per il monitoraggio del rumore ambientale è rappresentata dai sistemi di connettività integrati nello strumento, che implementa 3G e Wi-Fi, permettendo un totale controllo dello strumento da remoto (figura 4). Utilizzando un computer, un tablet o uno smartphone, oltre alla visualizzazione in tempo reale dei parametri misurati è possibile controllare diverse funzioni, come l'accensione e lo spegnimento dello strumento, così come attivare o disattivare le diverse opzioni. Inoltre, quando la registrazione sonora è attiva, l'audio può essere ascoltato in tempo reale telefonando al numero della SIM inserita nello strumento. L'autonomia degli strumenti, grazie alle batterie integrate, è stata notevolmente migliorata, garantendo 50-60 ore di misurazioni. Tuttavia, in caso di monitoraggi più estesi, e in assenza di allaccio alla rete elettrica, è necessario utilizzare kit di batteria aggiuntivi che devono essere alloggiati all'interno di un apposito box per esterno.

4. Esempio di una delle schermate di controllo online di una stazione di monitoraggio integrata nel fonometro (modello DUO della 01dB).

Metodica di analisi dei dati

I risultati del monitoraggio di rumore hanno permesso di eseguire diversi tipi di verifiche ed elaborazione dei dati.
La prima verifica, eseguita per ogni giornata di monitoraggio, ha riguardato i livelli sonori nei periodi di riferimento diurni e notturni che sono stati confrontati con i limiti previsti dalla legislazione vigente (riportata in appendice). Nei casi di valori dei livelli sonori superiori a quelli previsti dalla legislazione, è stata fatta innanzitutto una analisi dei profili temporali e dei sonogrammi degli interi periodi rilevati per individuare gli eventi rumorosi principali (attività di cantiere intensa, eventuali passaggi di aerei o imbarcazioni rumorose, ecc.) e di eventuali fenomeni meteorologici con influenza sulla rumorosità misurata (vento, pioggia, mareggiate, ecc.). Allo scopo di valutare il contributo delle attività dei cantieri sui livelli sonori equivalenti dei periodi diurni e notturni, è stata quindi eseguita la separazione dei contributi delle attività di cantiere rispetto agli altri eventi e sono stati ricalcolati i livelli sonori determinati dalle sole attività di cantiere; questi ultimi sono stati confrontati con i limiti di legge. Le elaborazioni sono state eseguite per ciascuna giornata di monitoraggio e i risultati sono stati inseriti nelle schede giornaliere con i dati orari e nelle tabelle riepilogative dei valori dei periodi diurni e notturni, unitamente alle informazioni relative ai dati meteo.
Un altro tipo di verifica, correlata con la legislazione vigente, è stata quella del criterio differenziale (vedere APPENDICE). Questa verifica è stata eseguita occasionalmente e solo quando sono state eseguite misurazioni in prossimità di ricettori residenziali.
Una ulteriore verifica è stata l'elaborazione dei dati di rumorosità delle attività di cantiere eseguite negli intervalli di tempo stabiliti per la protezione del periodo di nidificazione e riproduzione degli uccelli (15 Aprile - 30 Giugno); sono state infatti previste delle fasce orarie, indicate alla Direzione Lavori, nelle quali dovevano essere sospese le attività rumorose. Tali fasce orarie sono state così ripartite: dalle 05:00 alle 09:00 nel periodo 15 - 30 Aprile; dalle 04:30 alle 08:30 per il periodo 1 - 31 Maggio; dalle 04:00 alle 08:00 per il periodo 1- 30 Giugno.
È stata inoltre introdotta una specifica verifica per migliorare il processo di identificazione di situazioni critiche che potrebbero creare disturbo o impatto sugli uccelli. La procedura è stata strutturata in due fasi. Nella prima fase sono stati controllati e misurati i livelli di rumore dovuti al cantiere in intervalli di 30 minuti, calcolando il corrispondente livello in dB(A), per verificare l'eventuale superamento di un valore di soglia, pari a 60 dB (A), concordato con gli esperti dell'avifauna. La seconda fase è stata prevista per le sole situazioni di superamento del valore di soglia; in questi casi, lo spettro sonoro delle attività di cantiere che hanno determinato il superamento della soglia e lo spettro sonoro del canto degli uccelli sono stati confrontati, al fine di verificare i possibili effetti di mascheramento di intelligibilità del canto. Ulteriori dettagli sono riportati nel paragrafo successivo.

Procedura per la verifica del potenziale mascheramento del canto degli uccelli

Uno degli effetti più critici dell'elevata rumorosità è il mascheramento dei toni e la successiva riduzione dell'intelligibilità del messaggio sonoro tra gli uccelli. Eppure l'attuale normativa ambientale, sia italiana che europea, non prevede specifici riferimenti in merito ai fenomeni di disturbo arrecabili alle componenti faunistiche dell'ambiente; per le aree naturali, quali quelle delle Oasi di Alberoni e Ca' Roman, vengono generalmente adottati i limiti di Classe I proposti dal D.P.C.M. 14/11/97, pari a 50 dB(A) nel periodo diurno e 40 dB(A) nel periodo notturno (limiti di immissione) e 45 dB(A) nel pe-

riodo diurno e 35 dB(A) nel periodo notturno (limiti di emissione) ma non vi è alcuna relazione comprovata che tali limiti possano essere effettivamente adeguati per l'avifauna presente.
Non essendoci dei veri limiti normativi, allo scopo di poter dare un'indicazione dell'impatto antropico sull'integrità sonora delle aree protette, la WHO (World Health Organization, 1999) nella "Guidelines for Community Noise" raccomanda un valore basso del parametro R, definito dal rapporto "soundscape/noise"

$$R = 20\log(noise/soundscape)$$

R rappresenta il rapporto tra le immissioni di rumore all'interno di un'area protetta ed il rumore di fondo. Tale parametro indica che un ambiente naturale indisturbato, lontano da qualunque manifestazione sonora di origine antropica, è sicuramente integro; ma la stessa cosa si può dire di un ambiente naturale in cui la presenza antropica assume caratteri storici formando così una componente stabile del paesaggio sonoro. Questo implica che l'habitat tipico di una determinata specie avicola potrebbe diventare anche quello in cui un rumore di origine antropica è una presenza costante (Berretti *et al.*, 2004). È il caso del rumore continuo prodotto dal traffico a ridosso di ambienti naturali, in cui possono verificarsi fenomeni di adattamento degli habitat presenti; d'altra parte, l'effetto del rumore generato dal traffico nel tempo può sicuramente essere meno dannoso dei danni che si possono arrecare invece durante la fase cantieristica di costruzioni delle strade stesse. Questo perché, mentre la presenza continua del rumore tipico da traffico stradale può comunque diventare un disturbo a cui abituarsi, l'attività cantieristica, connotata da rumore maggiore rispetto a quello stradale e spesso di natura impattiva e vibratoria, può non creare le stesse condizioni di adattamento.
Uno degli effetti più critici dell'elevata rumorosità è il mascheramento dei toni, che determina riduzione dell'intelligibilità del messaggio sonoro tra gli uccelli. Tale fenomeno dipende da numerosi fattori, tra cui:

- caratteristiche della sorgente;
- tipo ed intensità del segnale emesso dall'uccello;
- distanze d'influenza.

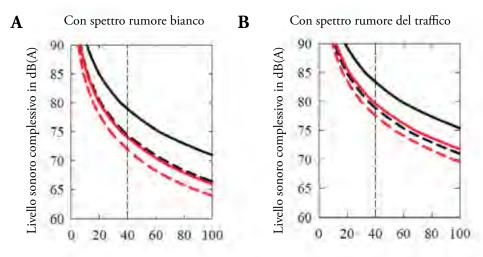
La distanza d'influenza dipende in primo luogo dall'attenuazione dovuta alla distanza (pari in campo libero a 6 dB per ogni raddoppio della distanza); oltre a ciò, si può avere un eccesso di attenuazione sonora dovuto alla fonoassorbenza della vegetazione, e in funzione dell'umidità e della temperatura dell'aria.
Per una corretta valutazione del potenziale mascheramento del canto degli uccelli a causa del rumore prodotto dalle attività di cantiere, a partire dal 2011 sono state adottate delle procedure valutative specifiche, allo scopo di migliorare il metodo di identificazione delle criticità che potrebbero creare eventuale disturbo o impatto sulla comunicazione tra uccelli. Questi criteri, però, non permettono di quantificare direttamente l'impatto del rumore sull'avifauna, cioè non correlano direttamente la rumorosità delle attività di cantiere e i dati di abbondanza e distribuzione delle singole specie target.
Nella procedura specifica per l'avifauna, fermo restando la validità dei limiti di legge previsti in base alla classificazione acustica del territorio (cfr APPENDICE "Quadro normativo e legislativo"), sono state sviluppate in maniera più dettagliata le analisi temporali e spettrali, impostando le seguenti due fasi di verifica::

- fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali specifici, di 30 minuti, calcolando il corrispondente livello equivalente in dB(A) e confrontando il valore ottenuto con valori di soglia;
- fase 2: confronto tra lo spettro sonoro delle attività di cantiere e lo spettro sonoro del

canto degli uccelli. Questo confronto può essere eseguito sia sugli spettri in terzi di ottava ottenuti dalle apparecchiature normalmente utilizzate per il monitoraggio, sia utilizzando eventuali registrazioni audio.

Fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali specifici

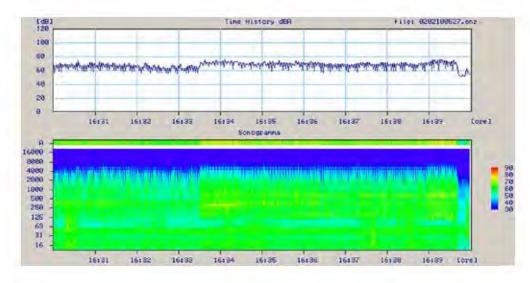
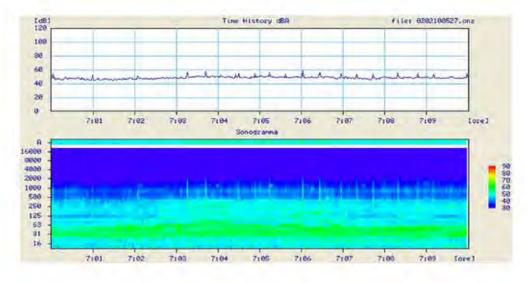
Sulla base di considerazioni qualitative è stato individuato, in collaborazione con gli esperti dell'avifauna del Piano di monitoraggio, l'intervallo di 30 minuti come quell'intervallo per il quale la persistenza di un livello sonoro elevato può determinare una effettiva interferenza per l'intelligibilità del canto tra gli uccelli; si ritiene che eventi sonori di durata inferiore a 30 minuti non vadano a modificare sostanzialmente il meccanismo di scambio delle informazioni tra gli animali. Ovviamente rumori di breve durata ma di elevati livelli sonori, come i rumori impulsivi, possono determinare altri effetti di disturbo, ma non comportano un persistente mascheramento del segnale sonoro.
Il valore di soglia del livello complessivo in dB(A), da utilizzare in presenza di una sorgente sonora di durata pari ad almeno 30 minuti, dovrebbe tenere conto di diversi fattori come il rumore di fondo, le specie di uccelli, la distanza reciproca, l'attenuazione sonora del canto determinata da vegetazione, terreno, ostacoli, ecc. Per quanto riguarda le diverse specie di uccelli si deve considerare la diversa potenza sonora del canto, la posizione del canto (da terra, dagli alberi e in volo), l'area di influenza e altri fattori. In considerazione di tutti questi aspetti la scelta di un valore di soglia non può essere che approssimata. Per questo motivo il superamento di un eventuale valore di soglia del livello complessivo in dB(A) è utilizzato solo per individuare potenziali situazioni critiche per l'avifauna.
Per individuare un valore di soglia appropriato per questo scopo si riportano alcune considerazioni preliminari basate sul significato di alcuni livelli sonori di riferimento.
Come prima considerazione si riporta il seguente esempio: un valore del livello sonoro di 50 dB(A) ottenuto mediando energeticamente su 16 ore è equivalente ad un livello sonoro di 65 dB(A) ottenuto mediando su 30 minuti quando nelle restanti 15 ore e 30 minuti il rumore è trascurabile. Questo significa che il valore di soglia di 65 dB(A) su 30 minuti è un valore massimo che, in caso di superamento, determina anche il superamento del valore limite di immissione di 50 dB(A), che, si ricorda, è utilizzato come soglia dalla legislazione vigente per le aree protette collocate in Classe I. Inoltre, sulla base della stessa considerazione si può osservare che il valore di soglia di 60 dB(A) su 30 minuti determinato da una specifica sorgente, in caso di superamento, determina anche il superamento del valore limite giornaliero di emissione di una specifica sorgente di rumore, pari a 45 dB(A).
Una ulteriore considerazione riguarda il rumore residuo presente nelle aree SIC (Siti di Importanza Comunitaria ai sensi della Direttiva 92/43/CEE) in assenza di attività di cantiere. Sulla base delle attività di monitoraggio pluriennale si è visto che il rumore residuo è variabile mediamente tra 40 e 45 dB(A) durante il periodo notturno e tra 45 e 50 dB(A) durante il periodo diurno.
Si deve pertanto assumere il valore di 50 dB(A) come valore della rumorosità delle attività di cantiere che non determina impatti aggiuntivi rispetto alle attività antropiche presenti nell'area, visto che questo valore viene frequentemente raggiunto anche in assenza di attività di cantiere.
Per individuare valori di soglia appropriati per il monitoraggio del rumore prodotto dai cantieri MOSE, oltre alle considerazioni preliminari sopra esposte che determinano il campo di livelli sonori nel quale individuare le soglie specifiche, sono stati utilizzati dati di letteratura che correlano la massima distanza di comunicazione efficace tra gli uccelli ed il livello complessivo in dB(A). Nei grafici di figura 5 (Lohr *et al.*, 2003) sono ripor-

5. Distanze massime teoriche di comunicazione (linea continua: soglie di rilevamento; linea tratteggiata: soglie di discriminazione) per pappagallini (linee nere) e alcune specie di fringuelli (linee rosse), con rumore bianco (spettro piatto, A) e rumore da traffico (B). La linea tratteggiata verticale rappresenta la distanza tipica di influenza (40 metri) per molte specie di passeriformi (Lohr *et al.*, 2003).

tati due esempi delle correlazioni qui utilizzate, effettuate per due specie di uccelli (pappagallini e fringuelli) con due diversi tipi di rumore ambientale.
Nei grafici si può osservare come, per le due specie di uccelli citate, per le quali è stato rilevato un livello sonoro del canto piuttosto elevato, livelli di rumore ambientale anche superiori a 60 dB(A) non interferiscano con la comunicazione per distanze fino a 100 metri ed oltre.
Tali grafici, essendo riferiti solo a due specie di avifauna, non possono essere generalizzati per tutte le altre specie. I valori riportati permettono però di poter assumere il valore di 60 dB(A) come idoneo alla discriminazione del canto, per molti contesti e molte specie anche se dotate di potenza sonora del canto inferiore a quella delle due specie considerate nello studio suddetto.
Nel caso dei cantieri del MOSE, il rumore descritto come spettro piatto da Lohr *et al.* (stessa energia per ciascuna frequenza) può essere rappresentativo di rumori tipo vibroinfissione pali o palancole, mentre il rumore da traffico, con maggiori componenti a bassa frequenza, risulta simile a quello prodotto da escavatori, draghe o apparecchiature a motore.
Sulla base delle considerazioni su esposte è stato pertanto assunta come soglia per il livello complessivo, in dB(A), in presenza di una o più sorgenti sonore relative all'attività di cantiere di durata pari ad almeno 30 minuti, il valore di 60 dB(A).
Il superamento di tale soglia a causa delle attività di cantiere è stato considerato come situazione critica, ed ha portato alla esecuzione delle analisi ed elaborazioni descritte nella successiva fase 2.

Fase 2: analisi in frequenza e confronto tra gli spettri delle attività di cantiere e del canto degli uccelli

Il canto degli uccelli si può manifestare in un campo di frequenza che va solitamente da 1000 a 10000 Hz. La maggior parte delle attività di cantiere ha invece uno spettro molto più ricco alle frequenze medio-basse, soprattutto per la presenza di motori o ventole. A parità di livello sonoro complessivo, i due spettri potrebbero essere completamente diversi e quindi il mascheramento del canto potrebbe essere trascurabile.
Per determinare un potenziale effetto di mascheramento dei toni, determinato sia da interferenze in termini di frequenza che da sovrapposizioni in termini di livelli sonori, si sono analizzati e confrontati gli spettri sonori e i profili temporali del canto degli uccelli e delle specifiche attività di cantiere.
La procedura proposta tiene anche in considerazione le indicazioni utilizzate in letteratura in situazioni analoghe (Dooling and Popper, 2007).

Risultati

Il monitoraggio acustico condotto durante il susseguirsi delle varie attività nei cantieri del MOSE ha dato indicazioni fondamentali per una programmazione delle lavorazioni più rumorose, mirata alla limitazione delle criticità relative agli orari e ai siti sensibili, con riferimento sia ai ricettori residenziali che alla salvaguardia dell'avifauna.
Complessivamente sono state eseguite misurazioni di lungo periodo in 38 diverse postazioni, di cui 8 per la valutazione ante operam e 30 per il monitoraggio delle varie attività di cantiere. La maggior parte di queste postazioni sono state utilizzate solo nei primi anni, per una valutazione della propagazione del rumore nelle aree circostanti ai cantieri, mentre alcune, considerate maggiormente significative, sono state usate come riferimento permanente per i dieci anni del monitoraggio, anche per una valutazione dell'andamento dei livelli sonori nel tempo. Di queste 38 postazioni di misura, 20 sono ubicate nell'area della bocca di Lido (Punta Sabbioni, San Nicolò e Baccan), 10 nella bocca di Malamocco (Alberoni, Santa Maria del Mare e San Pietro in Volta) e 8 nella bocca di Chioggia (Ca' Roman e Sottomarina). Complessivamente sono state eseguite circa 1900 giornate di monitoraggio da novembre 2004 ad aprile 2015, inviando circa 50 Rapporti di Anomalia relativi a circa 150 giornate in cui si sono verificati soprattutto superamenti di limiti assoluti di immissione diurni oppure lavorazioni rumorose nella fascia mat-

6. Profilo temporale e sonogramma rilevati in data 27 maggio 2010, estratto di 10 minuti relativo all'operazione di battitura pali.

7. Profilo temporale e sonogramma rilevati in data 27 maggio 2010, estratto di 10 minuti relativo al rumore prodotto da una fase del jet-grouting.

8. Profilo temporale tipo dei livelli al minuto con gli eventi più significativi, postazione ALBERONI-SIC3, giornata del 27 maggio 2010, bocca di porto di Malamocco.

tutina di sospensione per la protezione dell'avifauna (Campostrini e Dabalà, in questo volume, 2017).

Tra tutte le misurazioni effettuate durante le lavorazioni, quelle più impattanti in termini di rumorosità sono state la battitura dei pali, la vibro-infissione delle palancole, le movimentazioni del pietrame e la realizzazione dei diaframmi plastici. La criticità non è dipesa soltanto dalla potenza sonora generata dai macchinari ma anche dalla distanza tra le sorgenti di rumore e le aree o i ricettori sensibili dove venivano collocate le centraline di monitoraggio.

In alcune occasioni, in concomitanza con la rilevazione del rumore prodotto dai cantieri, si sono verificati degli eventi non attinenti alle specifiche lavorazioni che hanno determinato una rumorosità elevata nelle postazioni di misura. Si tratta, ad esempio, dell'entrata in funzione dei nautofoni in giornate particolarmente nebbiose, presenti nella bocca di Chioggia e nella bocca di Malamocco, le esercitazioni dei vigili del fuoco nei pressi dell'aeroporto Nicelli a San Nicolò, alcuni eventi sportivi o turistici, ecc.

Nelle figure 6 e 7 si riportano alcuni esempi di sonogrammi, mentre in Figura 8 si riporta un report giornaliero tipico, con gli eventi che hanno caratterizzato in maniera più significativa la giornata di riferimento, nel caso specifico battitura pali e jet-grouting, presso il lato nord della bocca di porto di Malamocco.

Caratterizzazione dell'attività di setacciatura a Punta Sabbioni, in vicinanza di un ricettore residenziale

L'attività di setacciatura, rilevata in maniera persistente in quasi tutte le giornate di monitoraggio tra il 15 e il 25 febbraio 2011 (figura 9) presso il lato nord della bocca di porto d Lido, veniva eseguita scuotendo la benna dell'escavatore. Questo generava rumori impulsivi ripetuti.

9. Postazione di misura breve (A) e particolare dell'attività di setacciatura (B) presso Punta Sabbioni.

10. Individuazione della postazione di misura breve di fronte ai ricettori residenziali e dell'attività di setacciatura a Punta Sabbioni.

Nella postazione di monitoraggio denominata SABBIO1 (figura 10) la rumorosità dovuta a questa attività era risultata facilmente percepibile ma di intensità piuttosto limitata (livelli inferiori a 50 dB(A)), data la distanza di circa 250 m dall'escavatore. Per questo motivo il 25 febbraio era stata effettuata una misurazione di breve durata (circa 10 minuti) con acquisizione del segnale audio di fronte alla residenza più vicina a tale attività (figura 10). La distanza tra la postazione di misura e l'attività era di circa 40 m, mentre tra la postazione di misura e il ricettore residenziale più vicino era di circa 20 m.

In figura 11 è riportato il profilo temporale della misurazione di breve durata, con indicate le fasi di setacciatura e il passaggio dei veicoli nella strada antistante e, in figura 12, un sonogramma ricavato dal segnale audio e riferito a circa 2 minuti di misura. Riguardo a questo sonogramma, l'acquisizione di dati audio era stata effettuata utilizzando una frequenza di campionamento di 24 kHZ, che aveva permesso di rilevare valori fino a 10 kHz; i segnali audio registrati erano stati elaborati in modo da ottenere dei sonogrammi caratterizzati da una risoluzione temporale e in frequenza più fitta rispetto ai sonogrammi rilevati dalle centraline di lungo periodo; le centraline di lungo periodo infatti rilevano uno spettro in terzi di ottava, mentre il sonogramma calcolato per la misura breve ha una risoluzione in frequenza costante pari a 11.7 Hz.

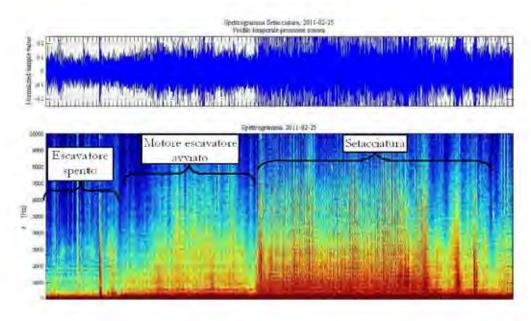
Dal profilo temporale era risultato che l'attività di setacciatura, epurata da eventi estranei come il passaggio di automobili, era caratterizzata da un livello equivalente compreso tra 65 e 67 dB(A). Il livello di rumore residuo, cioè in assenza di attività, rilevato poco prima delle 10:19:00, si attestava invece sui 45 dB(A).

Inoltre, l'attività di setacciatura era caratterizzata da rumori impulsivi con frequenze comprese tra 500 e 4000 Hz, dovuti al movimento delle parti meccaniche della benna. Era presente anche un forte rumore a bassa frequenza, dovuto al funzionamento del motore dell'escavatore.

La misurazione di breve durata aveva evidenziato che l'attività di setacciatura effettuata nel cantiere di Punta Sabbioni era tale da arrecare disturbo alle residenze più vicine. Dal punto di vista legislativo, inoltre, tale attività determinava sicuramente il superamento del limite differenziale all'interno dei ricettori residenziali, pari a 5 dB(A) di giorno e 3 dB(A) di notte (vedere APPENDICE).

Per questi motivi era stato consigliato di trovare soluzioni meno rumorose per effettuare tale attività o prevedere interventi di schermatura. In alternativa era stato proposto di spostare l'attività in aree meno problematiche, lontane da ricettori residenziali o da aree SIC.

A partire dal mese di aprile l'attività di setacciatura era stata effettivamente spostata sulla piarda di Alberoni, presso la bocca di porto di Malamocco. Monostante nell'area fosse

11. Profilo temporale al secondo della misura breve eseguita il 25 febbraio 2011 a Punta Sabbioni, con evidenziato il periodo relativo al sonogramma seguente (figura 12) e con indicate le attività di setacciatura e il passaggio di veicoli di fronte allo strumento.

12. Sonogramma e profilo temporale della durata di 2 minuti registrati il 25 febbraio 2011 tra le 10:18:48 e le 10:20:48 nella postazione di misura breve a Punta Sabbioni, relativi all'attività di setacciatura.

presente un ricettore sensibile, cioè la casa di riposo di S. Maria del Mare, e un'oasi protetta, ad Alberoni, la rumorosità di tale attività era stata rilevata con livelli estremamente bassi e tali da non arrecare disturbo nelle due aree citate, sia per la distanze elevata verso la casa di riposo (oltre 400 m) che per la protezione acustica svolta dai cumuli di pietrame verso l'oasi.

Valutazione del possibile mascheramento sull'avifauna

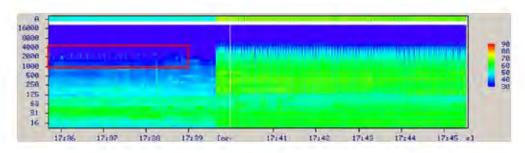
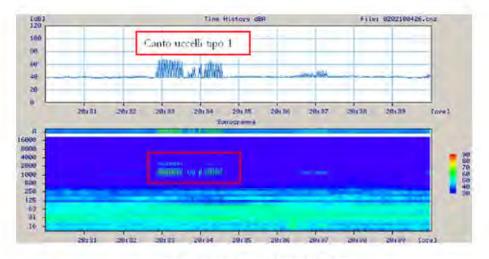
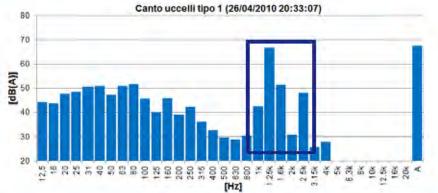
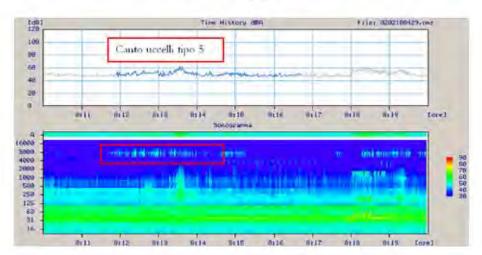
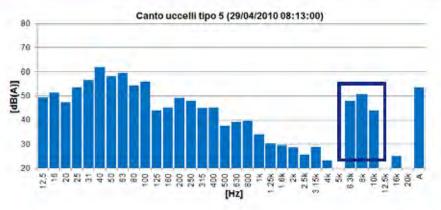
Il periodo di monitoraggio 26-29 aprile 2010 (figura 13), in presenza di attività di battitura pali, era finalizzato ad ottenere un riscontro della rumorosità per l'avifauna: erano stati analizzati e confrontati gli spettri sonori e i profili temporali del canto degli uccelli e delle attività di cantiere per determinare un potenziale effetto di mascheramento dei toni, determinato sia da interferenze in termini di frequenza che da sovrapposizioni in termini di livelli sonori.

13. Individuazione della postazione di misura ALBERONI-SIC3 e delle zone in cui sono presenti le attività di cantiere, alla bocca di porto di Malamocco.

La battitura di ciascun palo aveva una durata variabile da 5 a 8 minuti; tra due battiture consecutive intercorrevano circa 10-20 minuti. Per la battitura pali era stato impiagato un dispositivo con due gru battipalo posizionate rispettivamente su un carrello che corre su binari che percorrono i lati lunghi del motopontone (figura 14). Ogni gru battipalo era in grado in infiggere fino a 14 pali in un giorno, pertanto durante una giornata lavorativa potevano essere battuti fino a 28 pali. Considerando un numero di 28 pali battuti in un giorno per una durata media di 7 minuti l'uno, si era osservato che l'attività di battitura poteva occupare al massimo il 20% del periodo diurno.
Per ogni giornata di misura erano stati analizzati i profili temporali al minuto (fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali di 30 minuti) ed erano stati individuati gli intervalli di tempo di 30 minuti in cui le attività di cantiere avevano comportato un superamento del livello equivalente di soglia, pari a 60 dB(A).
Nel periodo considerato, il livello soglia di 60 dB(A) su 30 minuti era stato frequentemente superato anche con livelli molto elevati, fino a circa 69 dB(A). A titolo di esempio si riporta, in figura 15, un intervallo di tempo con livello sonoro superiore a 60 dB(A) ed un sonogramma (figura 16) riferito ad un estratto di 10 minuti dove si può già osservare che il campo delle frequenze del canto degli uccelli rilevato in questo caso ha componenti in frequenza che vengono chiaramente schermate dallo spettro dell'attività di cantiere considerata.
Successivamente (fase 2: analisi in frequenza e confronto tra spettro attività di cantiere e canto degli uccelli) erano state analizzate le diverse tipologie di canto degli uccelli rilevate durante il periodo considerato, al fine di confrontarle con lo spettro dell'attività di battitura pali che determinava il superamento del livello soglia su 30 minuti. Nelle fi-

14. Macchina battipalo utilizzata nella bocca di Malamocco.

15. Profilo temporale al secondo del giorno 26 aprile 2010, bocca di porto di Malamocco: si osserva un intervallo di 30 minuti (17:23 – 17:53, evidenziato dalla finestra verde) con livello sonoro di 66.2 dB(A).

16. Sonogramma con spettro in terzi di ottava di una fase di battitura pali del 26 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, con individuazione in rosso del canto degli uccelli alle bande centrate tra 1600 e 2500 Hz; il canto degli uccelli, nel campo di frequenze di interesse, risulta schermato dalle attività di cantiere.

gure 17-20, a titolo di esempio, si riportano i sonogrammi e gli spettri di 2 tipologie di canto degli uccelli, rispetto alle 6-7 tipologie individuate nell'arco delle quattro giornate monitorate, e lo spettro dell'attività di battitura pali (figura 21).
Le figure 22 e 23 riportano i grafici di confronto tra gli spettri delle due diverse specie di uccelli e lo spettro della battitura pali. Nella prima figura è riportato un esempio in cui il canto uccelli viene quasi totalmente schermato dal rumore della battitura pali ad esclusione della banda a 1250 Hz, dove però il maggior livello sonoro non è sufficiente a garantire intelligibilità. Nella figura 23, invece, si osserva come il canto uccelli venga marginalmente mascherato dal rumore della battitura pali; alle frequenze di vocalizzo degli uccelli (da 6300 a 10000 Hz), in particolare, è presente una differenza di livello tra canto uccelli e rumore battitura compresa tra 15 e 25 dB, sufficiente a garantire l'intelligibilità del canto. Ovviamente questo confronto è influenzato dalla distanza reciproca tra gli uccelli e tra questi e la sorgente di rumore.
La procedura di verifica dell'eventuale disturbo del rumore sull'avifauna, applicata al periodo di monitoraggio dal 26 al 29 aprile 2010 nella postazione di ALBERONI-SIC3, aveva quindi evidenziato che l'attività di battitura pali era in grado di determinare frequentemente il superamento del livello equivalente soglia di 60 dB(A) su 30 minuti.
Dai dati analizzati, l'attività di battitura pali aveva uno spettro tipico che interessava le bande da 12.5 a 5000 Hz. Il canto degli uccelli, a seconda della specie, variava da 1000 a 10000 Hz; di conseguenza le tipologie di canto con frequenze pari o inferiori al 5000 Hz potevano essere parzialmente o completamente mascherate dalla rumorosità della battitura pali.

17. Profilo temporale al secondo e sonogramma di 10 minuti rilevati il 26 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, riferiti al canto degli uccelli di tipo 1, in un periodo in cui non era presente l'attività di cantiere (alle 20:33 circa). Il canto di tipo 1 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava con frequenze centrali comprese tra 800 e 2500 Hz.

18. Spettro in terzi di ottava del canto degli uccelli di tipo 1 riportato nel sonogramma di figura 17. Il canto di tipo 1 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava con frequenze centrali comprese tra 800 e 2500 Hz (nel rettangolo).

19. Profilo temporale al secondo e sonogramma di 10 minuti rilevati il 29 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, riferiti al canto degli uccelli di tipo 5, in un periodo in cui era presente attività di cantiere (alle 08:12 circa). Il canto di tipo 5 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava tra 5000 e 12500 Hz, con picco a 8000 Hz.

20. Spettro in terzi di ottava del canto degli uccelli di tipo 5 riportato nel sonogramma di figura 19. Il canto di tipo 5 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava tra 6300 e 10000 Hz (nel rettangolo).

21. Spettro in terzi di ottava della battitura palo tipo, rilevato alla bocca di porto di Malamocco il 28 aprile 2010.

22. Confronto tra lo spettro del canto uccelli di tipo 1 e quello della battitura pali. Il canto degli uccelli, in blu, viene quasi totalmente schermato dal rumore della battitura palo, in rosso, ad esclusione della banda a 1250 Hz, dove però il rapporto segnale rumore è comunque insufficiente.

23. Confronto tra lo spettro del canto uccelli di tipo 5 e quello della battitura pali. In questo caso il canto degli uccelli, in blu, non viene mascherato dal rumore della battitura pali, in rosso; alla frequenze di vocalizzo degli uccelli (da 6300 a 10000 Hz), in particolare, è visibile una differenza di livello sonoro compresa tra 15 e 25 dB.

Ad ogni modo, secondo una serie di studi presenti in letteratura (Dooling and Popper, 2007), per la discriminazione del canto gli uccelli hanno bisogno di un elevato rapporto segnale-rumore, detto "rapporto critico", pari a 15-25 dB, a seconda delle specie. Occorre però considerare che gli uccelli sono in grado di impiegare strategie per migliorare la percezione del segnale; queste strategie includono la rotazione della testa per la scansione dell'ambiente, l'aumento del livello della voce (Wood and Yezerinac, 2006), il prolungamento della comunicazione e lo spostamento. Ognuno di questi fattori può da solo migliorare la comunicazione in ambiente rumoroso di 10-15 dB.
Pertanto, pur tenendo conto dei probabili effetti di mascheramento del canto durante

l'attività di battitura pali ad Alberoni, con durata di circa 8 minuti per un palo, si ritiene che gli uccelli siano in grado di mettere in atto strategie per mantenere la comunicazione tra di loro.
A seguito dei risultati delle misurazioni eseguite nel periodo 26-29 aprile 2010, l'attività di battitura pali nel recesso di spalla nord presso la bocca di Malamocco, inizialmente programmata per la primavera 2012, era stata spostata all'autunno successivo in quanto nei mesi aprile-giugno, periodo di nidificazione e riproduzione dell'avifauna, erano da evitare attività rumorose.

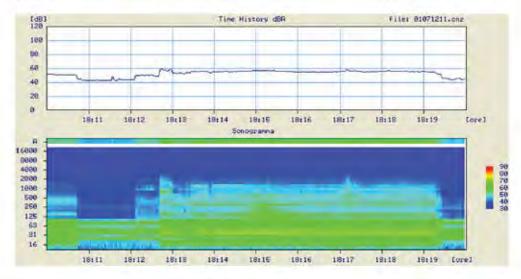
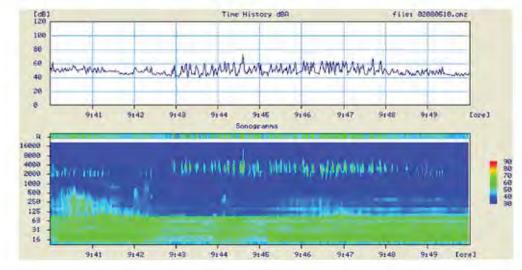
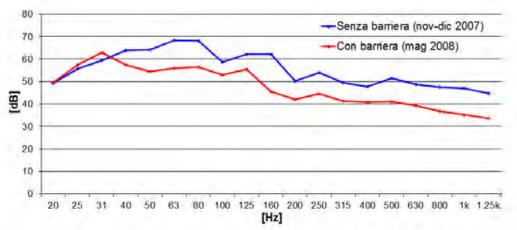
Valutazione dell'efficacia della barriera acustica realizzata ad Alberoni per mitigare il rumore delle trivellazioni orizzontali

La barriera (figura 24), la cui posizione è indicata in figura 25, era stata realizzata per proteggere l'avifauna presente all'interno dell'area SIC di Alberoni, nei pressi della bocca di Malamocco, dal rumore generato dalle attività di trivellazione orizzontale teleguidata presenti all'interno dell'area di cantiere.
La valutazione dell'efficacia fonoassorbente della barriera era stata effettuata prendendo in considerazione i valori misurati nel periodo di tempo antecedente alla realizzazione della barriera, tra il 22 novembre e il 22 dicembre 2007, e nel periodo di tempo successivo alla realizzazione della stessa, tra il 6 e il 22 maggio 2008. In entrambi i periodi erano state rilevate le attività di trivellazione orizzontale.
L'attività di trivellazione era caratterizzata da componenti in frequenza comprese tra 20 e 3000 Hz circa, con i livelli più elevati fino a 125 Hz. Nelle figure 27 e 28 si possono notare i sonogrammi tipici delle fasi di trivellazione più rumorose, rilevati nella postazione di misura prima e dopo la realizzazione della barriera.

24. Foto della zona di ingresso al cantiere ad Alberoni, alla bocca di Malamocco, prima (A) e dopo (B) la realizzazione della barriera.

25. Individuazione postazione di misura ALBERONI-SIC1 e posizione indicativa della barriera, alla bocca di porto di Malamocco.

26. Foto della zona di cantiere del cavidotto ad Alberoni. Si possono notare la macchina per la trivellazione orizzontale (al centro), il gruppo idraulico schermato dalla pannellatura fonoassorbente (sulla sinistra) e la barriera acustica (in verde sullo sfondo).

27. Profilo temporale e sonogramma rilevati ad ALBERONI-SIC1 in data 11 dicembre 2007, prima della realizzazione della barriera. Si può notare la fase più rumorosa dell'attività di trivellazione orizzontale tra le 18:13 e le 18:19 circa.

28. Profilo temporale e sonogramma rilevati ad ALBERONI-SIC1 in data 10 maggio 2008, dopo la realizzazione della barriera. Si può notare la fase più rumorosa dell'attività di trivellazione orizzontale, a partire dalle 09:45 circa, e la presenza del canto degli uccelli, caratterizzato da componenti in frequenza comprese tra 1600 e 10000 Hz.

Il confronto era stato effettuato considerando, per ognuna delle giornate monitorate, un intervallo di tempo di 5 minuti rappresentativo della fase di trivellazione più rumorosa, da cui erano stati estrapolati i valori dei livelli sonori al secondo per le frequenze tra 20 e 1250 Hz, escludendo dunque le frequenze superiori, così da rendere le condizioni al contorno il più possibile omogenee.
Era stato poi calcolato il livello medio di ogni frequenza dell'intero periodo antecedente

29. Spettro dei livelli medi rilevati nella postazione ALBERONI-SIC1, alla bocca di Malamocco, in assenza (in blu) e in presenza (in rosso) della barriera.

e dell'intero periodo successivo alla realizzazione della barriera, in modo tale da ottenere uno spettro medio (tra 20 e 1250 Hz) dei livelli rilevati nella postazione ALBERONI-SIC1 sia in assenza che in presenza della barriera. I risultati, riportati in figura 29, avevano evidenziato che la realizzazione della barriera aveva comportato un'attenuazione dei livelli sonori di circa 10 dB(A); le attenuazioni più evidenti si erano avute alle bande di 63, 80 e 160 Hz e per le bande tra 500 e 1250 Hz.
Pur non avendo esaminato le frequenze superiori, per la contemporanea presenza del canto degli uccelli, considerando che una barriera acustica ha prestazioni ottimali soprattutto alle frequenze medio–alte, era prevedibile che l'attenuazione per le bande superiori a 1250 Hz fosse stata ancora più elevata.

Valutazione dell'efficacia degli schermi acustici del dispositivo di battitura pali utilizzato nella bocca di Chioggia

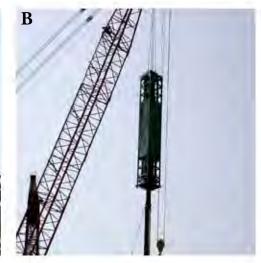
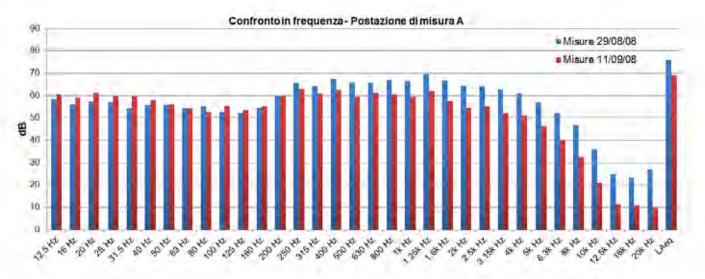
Le misurazioni brevi, effettuate in data 29 agosto, 11 settembre e 23 settembre 2008, e le misurazioni di lungo periodo, eseguite nella postazione CAROMA1 dal 29 agosto al 21 settembre 2008, erano volte a valutare l'efficacia delle schermature acustiche installate nel dispositivo di battitura pali utilizzato nel cantiere operativo presso la spalla nord della bocca di porto di Chioggia, in prossimità dell'Oasi di Ca' Roman (Figura 30).

30. Individuazione delle posizioni di misura "A", "B" e della zona in cui era presente la battitura dei pali, presso la bocca di porto di Chioggia. L'immagine è relativa al periodo in cui era stata effettuata la valutazione, agosto-settembre 2008.

Per le misure brevi effettuate in data 29 agosto e 11 settembre 2008 erano state utilizzate due postazioni di misura, come indicato in Figura 30. Le misure brevi del 23 settembre erano state eseguite in parte nelle stesse postazioni di misura del 29 agosto ed in parte in postazioni diverse, questo perché la macchina battipali era stata spostata verso il centro della bocca di Chioggia di circa 60 m.
Nelle tre giornate in cui sono state eseguite misurazioni brevi il dispositivo di battitura pali si trovava in condizioni acusticamente diverse:

- 29 agosto: la macchina battipali non presentava nessuna schermatura acustica;
- 11 settembre: alla macchina battipali era stata applicata una schermatura acustica (Figura 31);
- 23 settembre: la macchina battipali era stata spostata dalla posizione iniziale e la schermatura presentava una piccola apertura (Figura 32).

Tra le misure del 29 agosto e quelle del 11 settembre 2008, a parità di distanza, la riduzione del livello equivalente nell'intervallo di battitura risultava piuttosto elevata: tra 6 e 9 dB(A) rispettivamente per le postazioni "A" e "B". Lo stesso effetto della schermatura non era stato invece riscontrato confrontando le misure il 23 settembre, quando era stato osservato un certo peggioramento. Queste differenze erano state determinate sia dalla variabilità delle singole battiture che dalla presenza di un'apertura quadrata sulla schermatura durante le misurazioni del 23 settembre 2008 (figura 32).

31. Foto della macchina battipalo prima (A) e dopo (B) l'installazione della schermatura acustica. Foto scattate, rispettivamente, in data 29 agosto e 11 settembre 2008 presso la bocca di porto di Choggia.

32. Foto della macchina battipalo scattata in data 23 settembre 2008 presso la bocca di Chioggia. Si nota la presenza di un foro di forma quadrata, evidenziato in rosso, sulla schermatura acustica. Il foro era stato inserito per problemi di sicurezza e necessità di controllo visivo.

33. Confronto in frequenza dei livelli misurati nella postazione "A" i giorni 29 agosto (in blu) e 11 settembre (in rosso) 2008 alla bocca di porto di Chioggia.

34. Confronto in frequenza dei livelli misurati nella postazione "B" i giorni 29 agosto (in blu) e 11 settembre (in rosso) 2008 alla bocca di porto di Chioggia.

Eseguendo inoltre un confronto in frequenza sulle misure brevi eseguite il 29 agosto e l'11 settembre 2008 era stato possibile notare come la schermatura avesse avuto un'efficacia molto ridotta alle basse frequenze e via via maggiore verso le alte frequenze (figura 33 e figura 34).

Considerazioni conclusive

Il monitoraggio del rumore è stato messo in atto fin dall'inizio delle attività di costruzione del MOSE, collocandosi all'interno di una valutazione più completa, che comprende tutte le varie matrici ambientali.

Negli oltre dieci anni di monitoraggio le risorse coinvolte sono state indirizzate soprattutto all'analisi e al controllo delle attività di cantiere più rumorose tenendo conto anche della vicinanza con i ricettori residenziali sensibili e con le aree naturalistiche. Nei primi anni le misurazioni sono state eseguite in un elevato numero di postazioni distribuite su un territorio piuttosto vasto, così da poter valutare sia l'eventuale superamento delle soglie prefissate che l'estensione dell'area impattata, al variare della distanza dalle sorgenti di rumore. Negli anni successivi il numero di postazioni utilizzate è stato ridotto a quelle ritenute maggiormente significative, sia per quanto riguarda i ricettori residenziali che per quanto riguarda le aree naturalistiche, tenendo conto, in quest'ultimo caso, sia della ubicazione dei cantieri che della distanza dalle altre sorgenti; in alcuni casi, per tenere conto della variabilità sul territorio delle principali sorgenti di rumore, sono state aggiunte nuove postazioni di misura.
Nel corso degli anni l'attività di monitoraggio si è sempre più concentrata sulla tutela delle aree naturalistiche di pregio, e meno sulla verifica del superamento delle soglie nei ricettori residenziali. Questa scelta è stata dettata da varie motivazioni che tengono conto sia della progressiva diminuzione delle attività più rumorose eseguite in vicinanza dei ricettori residenziali che come conseguenza della procedura di infrazione da parte dell'Unione Europea, in merito alla tutela dell'avifauna e degli habitat comunitari..
L'evoluzione del monitoraggio del rumore nel corso degli anni, oltre che sulla distribuzione e scelta delle postazioni, si è espletato quindi anche sulla tipologia di verifiche eseguite. Nei primi anni del monitoraggio queste riguardavano principalmente l'applicazione dei criteri previsti dalla legislazione sul rumore ambientale, in particolare il controllo sui *limiti assoluti di immissione ed emissione* per tutti i tipi di ricettori, sulla base della classificazione acustica del territorio, nonché le considerazioni e la stima basate sul *criterio differenziale* per i ricettori residenziali. Negli anni successivi è stato aggiunto dapprima il controllo delle attività rumorose nel momento del "dawn chorus", cioè nella fascia oraria mattutina immediatamente successiva all'alba nel periodo della nidificazione dell'avifauna (15 aprile - 30 giugno), e successivamente (a partire dal 2011) la procedura per la stima di eventuali mascheramenti sul canto degli uccelli determinati dalle attività di cantiere più impattanti.
Nel corso del monitoraggio del rumore sono state eseguite anche valutazioni per la caratterizzazione acustica di specifiche sorgenti sonore e la valutazione dell'efficacia di interventi di mitigazione attuati.
Il monitoraggio acustico di lungo periodo ha permesso un controllo in tempo quasi reale dei livelli di rumore dovuti alle fasi di lavorazione ed ha determinato, nei casi di mancato rispetto delle soglie e degli accordi, l'invio di Rapporti di Anomalia. Come conseguenza le imprese di costruzione hanno spesso modificato l'intensità e gli orari di lavorazione di alcune attività, così da limitare il disturbo ambientale. D'altro canto si è frequentemente riscontrato che le attenzioni da parte delle imprese scattavano solo in presenza delle centraline di monitoraggio del rumore e pertanto si è avuto un importante effetto sentinella e di stimolo.
In conclusione, il monitoraggio ha consentito da una parte di stimolare gli interventi di riduzione del rumore alla fonte, modulando ad esempio le attività giornaliere, dall'altra di inserire delle vere e proprie opere di mitigazione atte a salvaguardare i ricettori sensibili.
Inoltre, partendo dalle registrazioni audio in affiancamento alle misure di lungo periodo e alle misure brevi, sono state caratterizzate sia le attività di cantiere sia gli eventi estranei (come eventi meteo, passaggi di imbarcazioni o sorvoli di aerei) normalmente presenti nelle aree di studio. Le analisi successive hanno permesso di ottenere un database di sonogrammi e spettri in frequenza cui far riferimento per il riconoscimento delle varie attività lavorative e sorgenti estranee.

Alla luce delle analisi condotte in questi dieci anni è emerso che il rumore prodotto dai cantieri del MOSE non sembra aver determinato effetti permanenti rilevanti sulla riduzione della comunità ornitica della zona lagunare (vedere anche Coccon e Baldaccini, 2017).
Per quanto riguarda l'impatto sui ricettori residenziali, il rumore ha sicuramente avuto un effetto di disturbo soprattutto nei primi anni di attività di cantiere, specialmente in prossimità della zona residenziale di Punta Sabbioni. Tale effetto si è anche manifestato con lamentele e proteste da parte della popolazione, dovute sia al rumore che ad altre problematiche come l'emissione di polveri, la perdita di attività turistica, ecc. La realizzazione di una barriera acustica su un tratto del lungomare di Punta Sabbioni, unitamente alla riduzione delle attività più rumorose e alla messa in atto di misure di compensazione, hanno determinato un riequilibrio di posizioni e una riduzione dell'esigenza di eseguire monitoraggi.
In conclusione non si può fare a meno di riconoscere l'assoluta unicità di questa lunga esperienza, con una così corposa quantità di dati raccolti e di analisi prodotte e con una collaborazione scientifica con un così ampio gruppo di esperti, con l'obiettivo comune di ridurre i rischi per l'ambiente e l'ecosistema lagunare determinati dalla realizzazione di una così "grande opera".

Ringraziamenti

Il monitoraggio è stato svolto dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, con il supporto della società spin-off Materiacustica srl, nell'ambito delle attività di monitoraggio coordinate dal CORILA.
Durante i dieci anni di attività, numerosi colleghi e consulenti hanno collaborato; in particolare, oltre agli autori, si vogliono ringraziare (scusandomi per eventuali dimenticanze): Miguel Ausejo Prieto, Federica Bettarello, Paolo Bonfiglio, Andrea Cerniglia, Andrea Farnetani, Alice Feletti, Nicola Verdolin, Matteo Michelacci, Francesco Pompoli, Nicola Prodi, Massimo Zambello, Sara Zanella, Marco Zanetti.
Un ringraziamento particolare alla direzione e al personale amministrativo e tecnico del Dipartimento di Ingegneria.

Appendice - Quadro normativo e legislativo

L'attività di controllo del rumore prodotto dalle diverse fasi di cantiere si inserisce in un contesto ben strutturato sia dal punto di vista legislativo che dal punto di vista delle metodologie e strumentazione, sebbene, per alcune specifiche attività di controllo non previste dalla legislazione vigente, le soglie di riferimento e le procedure di attuazione siano state concordate successivamente all'avvio delle attività.

Sintesi legislazione europea

Con la Direttiva 2002/49/CE del 25 giugno 2002 il Parlamento Europeo ha evidenziato l'importanza della tutela delle persone dal rumore ambientale, in particolare nelle zone edificate, nei parchi pubblici, nelle aree rilevanti dal punto di vista storico e naturalistico, nei pressi delle scuole, degli ospedali e di altri edifici e aree particolarmente sensibili al rumore.
L'obiettivo della Direttiva è quella di definire un approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale, fornendo inoltre una base per lo sviluppo di misure comunitarie di contenimento del rumore generato dalle principali sorgenti di disturbo (traffico e infrastrutture, attrezzature utilizzate all'aperto, macchinari mobili, ecc.).
Nel testo viene sottolineata la necessità di fissare metodi comuni di valutazione del rumore ambientale e una definizione dei valori limite, in base a descrittori armonizzati atti alla determinazione dei livelli sonori. Agli Stati membri è demandato il compito di stabilire concretamente tali valori limite tenendo conto tra l'altro della necessità di applicare il principio della prevenzione per preservare zone silenziose negli agglomerati.
Tra le novità che apporta la Direttiva Europea spiccano la definizione di nuovi parametri descrittori acustici (L_{den} e L_{night}) e l'imposizione della mappatura acustica strategica in determinate zone di interesse, la cui priorità dovrebbe essere oggetto di piani di azione elaborati dalle autorità competenti previa consultazione con il pubblico. In attuazione alla Direttiva Europeo lo Stato Italiano ha promulgato il Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n° 194.
Per quanto riguarda i macchinari in funzione presso i cantieri in cui sono previste le attività alle bocche lagunari, gli stessi sono regolamentati da normativa europea, ovvero devono possedere i requisiti di conformità previsti dalla Direttiva 2000/14/CE e dall'attuativo Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n.262. Tale Decreto disciplina i valori di emissione acustica, le procedure di valutazione della conformità, la marcatura, la documentazione tecnica e la rilevazione dei dati sull'emissione sonora relativi alle macchine ed alle attrezzature destinate a funzionare all'aperto, al fine di tutelare sia la salute ed il benessere delle persone che l'ambiente.

Sintesi legislazione nazionale e regionale

La legislazione nazionale sul controllo dell'inquinamento acustico fa riferimento sostanzialmente alla legge quadro n° 447 del 26-10-95 e ai suoi decreti attuativi, in particolare al DPCM 14-11-97 sui limiti delle sorgenti sonore.
La legge quadro sull'inquinamento acustico stabilisce "i princìpi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico", stabilendo le competenze di Stato, Regioni, Province e Comuni in termini di determinazione dei criteri e attuazione degli stessi tramite provvedimenti e normative.
La legislazione si basa sul concetto di *classificazione acustica del territorio*, cioè la suddivi-

sione in zone omogenee a diversa destinazione d'uso, a ciascuna delle quali competono diversi valori dei limiti di rumorosità ammissibile.
In presenza di classificazione acustica del territorio sono previsti due diversi tipi di valori limite da applicare:

- *valori limite di emissione*: i valori massimi che possono essere emessi da una sorgente sonora, misurati nell'area circostante la sorgente stessa ed in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità;
- *valori limite di immissione*: i valori massimi emessi dal complesso delle sorgenti sonore considerate, misurate in prossimità dei ricettori. I valori limite di immissione sono distinti in:

  a) *valori limite assoluti di immissione*, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
  b) *valori limite differenziali di immissione*, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo; si applicano soltanto all'interno degli ambienti abitativi.

Vengono inoltre definiti anche i seguenti valori dei livelli di rumore:

- *valori di attenzione*: il valore del livello di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente;
- *valori di qualità*: i valori del livello di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge.

I valori limite di emissione, quelli assoluti di immissione, così come i valori di attenzione e qualità sono tabellati in funzione della classe di destinazione d'uso del territorio ed in funzione del periodo diurno o notturno.
I valori limite differenziali di immissione, che si applicano esclusivamente all'interno degli ambienti abitativi, valgono 5 dB(A) per il periodo diurno e 3 dB(A) per il periodo notturno. Tali limiti non si applicano quando il livello di immissione, misurato a finestre aperte, è inferiore a 50 dB(A) di giorno ed a 40 dB(A) di notte, ovvero quando, a finestre chiuse, tali valori sono inferiori rispettivamente a 35 dB(A) diurni e 25 dB(A) notturni. I limiti differenziali non si applicano, tra l'altro, al rumore prodotto dalle infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e marittime.
Le attività di cantiere e tutte le *attività temporanee* sono trattate dalla legislazione in maniera diversa dalle altre sorgenti specifiche. La Legge Quadro prevede, infatti, che per le attività temporanee rumorose siano previste autorizzazioni in deroga ai limiti di immissione previsti dal DPCM 14-11-97. Alle Regioni spetta il compito di fornire le modalità mentre ai comuni compete il rilascio delle autorizzazioni in deroga. In materia di attività temporanee, la Circolare 6 settembre 2004 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, pubblicata sulla G.U. n.217 del 15-9-2004, prevede che: "Premesso che spetta alle Regioni, ai sensi dell'art. 4 della legge n. 447/1995, disciplinare le modalità di rilascio delle autorizzazioni comunali per lo «svolgimento di attività temporanee e di manifestazioni in luogo pubblico o aperto al pubblico qualora comportino l'impiego di macchinari o di impianti rumorosi», si ritiene tuttavia opportuno, ai fini di un più omogeneo trattamento della questione, che per quanto riguarda tali attività, la richiesta di deroga all'autorità competente sia effettuata sulla base di apposita valutazione di impatto acustico dei seguenti valori limite assoluti di immissione: diurni, notturni (qualora, ai fini della tutela della popolazione nella condizione che risulta essere la più fastidiosa, non sia possibile sospendere l'attività' temporanea notturna), nonché dei valori limite differenziali, fatta salva comunque la verifica del rispetto dei limiti previsti dalla deroga stessa".

La circolare del 6-9-2004 prevede, quindi, che la deroga debba essere richiesta sia per i limiti assoluti che per i limiti differenziali.
La deroga va richiesta al Sindaco del comune in cui si svolge l'attività temporanea.
La richiesta di autorizzazione in deroga non è un atto obbligatorio ma diventa indispensabile quando si prevede che l'attività di cantiere determini un superamento dei limiti.
La richiesta va effettuata in anticipo rispetto all'apertura del cantiere.
Le modalità di richiesta delle autorizzazioni in deroga, come visto, dipendono dalle regioni e dai comuni interessati. La concessione della deroga ai limiti previsti dal DPCM 14-11-97, non significa che l'attività del cantiere può essere svolta senza limiti sulle emissioni rumorose. Saranno i comuni a stabilire le modalità, i tempi, gli orari, e i livelli sonori da rispettare.
La legge regionale Veneto n. 21 del 10 maggio 1999 "Norme in materia di inquinamento acustico", in merito alle emissioni sonore da attività temporanee (articolo 7) prevede che:

1. "Il comune può, ai sensi dell'articolo 6, comma 1, lettera h) della legge n. 447/1995, autorizzare deroghe temporanee ai limiti di emissione, qualora lo richiedano particolari esigenze locali o ragioni di pubblica utilità. Il provvedimento autorizzatorio del comune deve comunque prescrivere le misure necessarie a ridurre al minimo le molestie a terzi e i limiti temporali di validità della deroga."
2. "Nei cantieri edili i lavori con macchinari rumorosi sono consentiti dalle ore 8.00 alle ore 19.00, con interruzione pomeridiana individuata dai regolamenti comunali, tenuto conto delle consuetudini locali e delle tipologie e caratteristiche degli insediamenti."

L'articolo 81 della Legge Regionale n. 11 del 13 aprile 2001 stabilisce alla lettera c) del comma 1 che è funzione specifica dell'ARPAV predisporre i criteri da osservare per la predisposizione della documentazione di impatto acustico, ai sensi del l'articolo 4, comma 2, lett. d) della legge regionale 10 maggio 1999, n. 21.
Con la Delibera del Direttore Generale ARPAV, DDG n. 3 del 29.01.2008, sono stati approvati due documenti:

1. "Definizioni ed Obiettivi generali per la realizzazione della documentazione in materia di impatto acustico ai sensi dell'articolo 8 della LQ n. 447/1995";
2. "Linee guida per la elaborazione della documentazione di impatto acustico ai sensi dell'articolo 8 della LQ n. 447/1995".

Nel primo dei documenti sopra elencati si fa riferimento anche a valutazioni specifiche di impatto acustico su ecosistemi o su singole specie biologiche, prevedendo l'uso di "parametri e metodi di valutazione diversi, basati sulle più aggiornate conoscenze scientifiche in materia".
Il secondo documento indica le modalità della stesura di una relazione di Valutazione di Impatto Acustico per varie tipologie di sorgenti rumorose, tra cui anche attività produttive temporanee o permanenti.

Valori limite per i siti in esame in assenza di deroga

Sulla base della legislazione vigente e della presenza o meno di classificazione acustica al momento dell'esecuzione dei monitoraggi, nelle aree interessate dalla rumorosità prodotta dalle attività cantieristiche alle bocche di porto sono stati considerati i limiti di seguito riportati. All'interno delle abitazioni, a finestre aperte e chiuse, valgono inoltre i limiti differenziali pari a 5 dB(A) per il periodo diurno e 3 dB(A) per il periodo notturno.

Punta Sabbioni, comune di Cavallino-Treporti

In assenza di classificazione, sul suo territorio sono stati considerati i limiti provvisori riportati nel DPCM 1-3-91 e confermati anche nel DPCM 14-11-97.

Zonizzazione Urbanistica	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
Tutto il territorio nazionale	70	60

Aree prospicienti le bocche lagunari, comune di Venezia

Il comune di Venezia ha adottato la classificazione acustica e quindi sono stati considerati sia i *limiti di emissione* che i *limiti di immissione* relativi alle diverse classi acustiche. Molte delle aree lagunari sono classificate in *classe I* poiché zone naturalistiche protette o aree di pregio particolare. In queste aree i limiti assoluti sono i seguenti:

CLASSE I	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
Limiti di immissione	50	40
Limiti di emissione	45	35

Aree prospicienti la bocca di Chioggia, comune di Chioggia

Il comune di Chioggia ha adottato la classificazione acustica e quindi sono stati considerati sia i *limiti di emissione* che i *limiti di immissione* relativi alle diverse classi acustiche. In prossimità della bocca di Chioggia ci sono aree classificate in *classe I* ed aree classificate in *classe II*.
Per la classe I valgono i seguenti limiti assoluti:

CLASSE I	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
Limiti di immissione	50	40
Limiti di emissione	45	35

Per la classe II valgono i seguenti limiti assoluti:

CLASSE II	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
Limiti di immissione	55	45
Limiti di emissione	50	40

Linee Guida per il Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere di cui alla Legge Obiettivo (Legge 21.12.2001, n. 443), Commissione VIA, rev. 1 del 4 settembre 2003 - rumore

Le Linee Guida per il Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere di cui alla Legge Obiettivo (Legge 21.12.2001, n. 443), predisposte dalla Commissione Speciale di Valutazione di Impatto Ambientale (Rev. 1 del 4 settembre 2003), riportano prescrizioni sulla modalità di esecuzione dei monitoraggi, sulle caratteristiche delle apparecchiature, sui requisiti da controllare, sui tempi di misura e sulla distribuzione spaziale delle postazioni. Per quanto riguarda la fase *ante operam*, le Linee Guida stabiliscono che

il PMA deve prevedere il rilevamento di un adeguato scenario di indicatori acustici atti a rappresentare lo “stato di bianco”, cui riferire l’esito dei successivi monitoraggi. Nella fase in corso d’opera, si prescrive inoltre che il PMA deve prevedere il controllo dell’evolversi della situazione ambientale, al fine di verificare che la dinamica dei fenomeni acustici sia coerente rispetto alle previsioni del SIA, il controllo delle emissioni acustiche delle lavorazioni e dei traffici indotti dal cantiere al fine di evitare il manifestarsi di emergenze specifiche o di adottare eventuali misure integrative di mitigazione degli impatti. Con riferimento alla fase *post operam*, si stabilisce che il PMA deve prevedere la verifica degli impatti acustici intervenuti nelle fasi di pre-esercizio ed esercizio dell’Opera, l’accertamento della reale efficacia degli eventuali provvedimenti posti in essere per garantire la mitigazione dell’impatto acustico sia sull’ambiente antropico circostante, sia sull’ambiente naturale, la predisposizione di eventuali nuove misure per il contenimento del rumore aggiuntive a quelle previste nel SIA. Viene stabilito che il riferimento per tutte le attività di monitoraggio deve essere il rispetto dei limiti imposti dalla normativa vigente e, pertanto, la loro articolazione temporale deve essere orientata a fornire dati confrontabili con i limiti della normativa, diurni e notturni, e in funzione della tipologia dell’Opera. L’individuazione delle aree sensibili in cui realizzare i monitoraggi deve essere effettuata sulla base delle caratteristiche del territorio in cui si propaga il rumore originato dall’Opera (orografia del terreno, presenza di elementi naturali o artificiali schermanti, presenza di condizioni meteorologiche favorevoli), delle caratteristiche geometriche, tipologiche e di emissione della sorgente in esame, della classificazione acustica del territorio interessato, prestando la massima attenzione alla presenza di centri abitati e ai ricettori sensibili di classe I. Le tipologie di postazioni devono quindi permettere la verifica del rispetto dei limiti assoluti di zona in facciata agli edifici, la verifica delle emissioni sonore nei punti di controllo appositamente scelti nell’ambiente esterno e la verifica dei limiti differenziali all’interno delle abitazioni nei casi della loro applicabilità (specie nella fase di cantiere).

Bibliografia

Circolare 6 settembre 2004, "Interpretazione in materia di inquinamento acustico: criterio differenziale e applicabilità dei valori limite differenziali".

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n° 194.

Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n.262.

Delibera del Direttore Generale ARPAV, DDG n. 3 del 29 gennaio 2008.

Direttiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'8 maggio 2000 sul ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto.

Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.

Direttiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 novembre 2009 concernente la conservazione degli uccelli selvatici.

Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche.

DPCM 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore".

Legge Regionale 9 dicembre 1993, n. 50 "Norme per la protezione della fauna selvatica e per il prelievo venatorio".

Legge Regionale Veneto n. 11 del 13 aprile 2001.

Legge Regionale Veneto n. 21 del 10 maggio 1999, "Norme in materia di inquinamento acustico".

Baldaccini E., Campostrini P., Coccon F., Dabalà C., Fausti P., Santoni A., Soldatini C. (2014) Birds and noise: the Mose yards case (lagoon of Venice, Italy). Proceedings of Fifth International Symposium: Monitoring of Mediterranean Coastal Areas: problems and measurement techniques, Livorno (Italy) 17-18-19 June 2014, Edited by: Fabrizio Benincasa, published by: CNR-IBIMET December 2014, ISBN: 978-88-95597-19-5.

Berretti C.A., Garavoglio S., Masoero M. (2004) Acustica biocentrica: un nuovo percorso per la verifica di impatto acustico delle aree naturali, Atti del 31° Convegno Nazionale AIA. Venezia, 5-7 maggio 2004.

Campostrini P., Dabalà C. (2017) Una visione olistica, multidisciplinare ed integrata per il Piano di monitoraggio della costruzione del MOSE. In "Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia", P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi (editors), CORILA.

Coccon F., Baldaccini E. (2017) Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del Sistema MOSE. In "Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia", P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi (editors), CORILA.

Dooling R. J., Popper A. N. (2007) The effects of highway noise on birds. Environmental BioAcoustic LLC.

Fausti P., Campostrini P., Dabalà C., Caniato M., Guerra M. C., Santoni A., Zuccherini Martello N. (2016) Noise generated from large construction sites: Measurements and possible mitigations. Proc. of the 22nd International Congress on Acoustics, Buenos Aires – 5 to 9 September, 2016.

Lohr B., Wright T.F. & Dooling R. J. (2003) Detection and discrimination of natural calls in masking noise by birds: estimating the active space of a signal. Animal Behaviour, 65, 763–777.

Wood W.E., Yezerinac S.M. (2006) Song sparrow (*Melospiza Melodia*) song varies with urban noise. The American Ornithologists' Union.

World Health Organization (WHO) (1999) Guidelines for Community Noise, Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela (eds), Geneva.

Summary

Noise generated from activities in construction sites is usually considered, within environmental noise legislation, as a specific case, together with other temporary activities. The Italian legislation allows for the introduction of a waiver with respect to the standard noise limit values. When the duration of the activities and the areas involved in the construction sites are very large and the type and localisation of the noisiest activities change in time, it is very difficult to find a simple procedure to apply the waiver. It is also important to evaluate differently the situation in which the noisy activities affect the population in residential areas from those cases in which the sites are close to protected natural areas, with a possible impact on birds and other animals. Therefore, it is necessary to carry out specific procedures to guarantee that the noise levels remain below the thresholds adopted for the various situations.
In the case of the construction of a mobile barrier system for the safeguard of the city of Venice from intruding tidal waters, a monitoring plan was organised and performed. The noise problems related to the construction sites has been an important part of the monitoring plan, although smaller with respect to other potential impact.
Since the early beginning of the construction activities, at the end of 2004, noise emission monitoring was conducted in order to evaluate the noise disturbance in some of the residential buildings close to the sites and also to evaluate possible effects on the presence of bird communities in the surrounding areas.
Noise monitoring was carried out during the construction activities considered to be the noisiest and most disturbing. Long term (minimum one week) noise monitoring was undertaken on the most sensitive positions. The measurement stations were equipped with a GSM modem for remote connection, with a data transmission system in order to provide real time visualization of the monitoring.
In addition to the long period surveys scheduled by the agreements, additional measurements were occasionally made at various distances from noise sources, in order to evaluate the noise propagation of the activity and the noise levels induced on the surrounding areas in order to have a better understanding of the sources responsible for exceeding the noise threshold and the dimension of the affected areas.
The results of the long term noise monitoring permitted different types of verifications. The first was related to the reference period levels which were compared with the allowed limits; daily reports were produced and in occurrence of levels above the limit, formal advisory warnings were issued. In those cases in which measurements were made in residential buildings, the differential limits were also evaluated. The second was related to the verification of the noisy activity in the time intervals agreed for the protection of the nesting period of the birds. The third verification was introduced to improve the process of identifying critical situations that could create disturbance or impact on birds. The procedure consisted of two phases; a first checking phase of the noise levels due to the construction site at intervals of 30 minutes, by calculating the corresponding level in dB(A) and comparing the obtained value with the limit value adopted of 60 dB(A). In case this value was exceeded, in the second phase the sound spectrum of construction activities and the sound spectrum of the birdsong were compared in order to verify possible masking effects on intelligibility of the latter.
Many different activities were monitored during more than ten years of construction. The pile driving and the horizontal drilling of cable ducts were arguably among the noisiest, the first for its intensity and duration, the second for its duration and its proximity to the natural protected areas.
Having defined the pile driving activity as the most significant from the standpoint of noise emission and considering the number of piles to be inserted (approximately 1500

for every inlet), an attempt to reduce noise emission was made by the construction company. The dimension of the machinery was very large and the starting height of the hammering did not permit the possibility to reduce the noise on the propagation paths. The only possibility was to intervene directly on the structure of the machinery, very close to the driving hammer, using an enclosure to encapsulate the main impact noise source. The first results were satisfying, considering a noise mitigation of almost 10 dB(A). After the first application, for safety reasons, part of the enclosure needed to be opened, to permit visibility and avoid creating a fire hazard. Therefore, the following experimental measurements show a reduction of 5-6 dB(A).
Regarding the horizontal drilling activity, the realization of a noise barrier gave a noise mitigation of approximately 10 dB(A). This result was considered positive, taking into account that the noise was mainly at the low-medium frequency bands and that the activity was performed using different machineries distributed in quite a large area.

Valutazione dell'impatto atmosferico della costruzione del MOSE

Atmospheric impact assessment of the MOSE construction

Franco Belosi, Daniele Contini, Daniela Cesari,
Elena Elvini, Andrea Gambaro, Elisa Morabito

Introduzione

La laguna di Venezia è soggetta a diverse fonti di inquinamento atmosferico dovute ad emissioni provenienti da attività industriali, impianti per la produzione di energia elettrica, impianti petrolchimici, termovalorizzatori, riscaldamento domestico, emissioni da traffico marittimo e terrestre (trasportate dalla terraferma) ed emissioni provenienti dalla lavorazione del vetro.

La costruzione delle barriere mobili alle bocche della laguna di Venezia (MOSE) rappresenta una ulteriore potenziale pressione, per le emissioni dovute ai mezzi off-roads terrestri e marittimi, per la movimentazione di terreno e pietrame e per il sollevamento di polveri, nelle aree di cantiere, dovuto all'azione del vento.

Al fine di valutare l'eventuale impatto atmosferico dovuto alle attività di costruzione delle barriere mobili, è stato predisposto ed attuato un articolato Piano di monitoraggio che nel corso degli anni si è modificato sulla base delle lavorazioni svolte e dei risultati acquisiti.

La strategia di monitoraggio ha preso in esame gli inquinanti individuati dalla legislazione europea ed italiana come indicatori della qualità dell'aria (DM 60 del 2002 e D.Lgs. 155/2010).

Nello specifico gli inquinanti oggetto del monitoraggio sono stati: PM_{10} (cioé il particolato con dimensioni inferiori a 10 µm) e la sua composizione elementale, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sia in fase gassosa che particellata, i gas NOx, NO_2 e CO. L'attività di monitoraggio si è estesa inoltre alla raccolta delle deposizioni atmosferiche.

La figura 1 riporta la dislocazione alle tre bocche di porto delle stazioni di misura per i diversi inquinanti considerati.

La strategia di elaborazione dei dati acquisiti si è basata sul confronto dei risultati delle misure svolte in campo con i valori legislativi di riferimento, con valori di soglia ottenuti da elaborazioni svolte in assenza di attività cantieristiche e per mezzo di correlazioni con i parametri meteorologici. Inoltre, la comparazione fra i dati acquisiti ed i parametri meteorologici (principalmente direzione e velocità del vento) ha costituito una analisi molto importante ai fini della individuazione di eventi di pressioni ambientali dovuti alle attività cantieristiche piuttosto che alle condizioni generali di inquinamento presenti in laguna.

In aggiunta alle misure puntuali, un ulteriore strumento per valutare l'impatto sulla qualità dell'aria delle attività dei cantieri è consistito nell'utilizzo di tecniche di modellazione mediante la applicazione di un modello numerico di dispersione di inquinanti in atmosfera.

1. Stazioni di monitoraggio alle bocche di porto di A) Lido, B) Malamocco, C) Chioggia.
Immagine aerea da Google Earth.

Materiali e metodi

Lo schema generale della procedura di elaborazione dei dati acquisiti con misure sperimentali puntuali è stato così caratterizzato:

- confronto delle concentrazioni medie di un dato inquinante fra periodi di attività cantieristica e periodi di assenza di lavorazioni (giorni festivi, ferie, ecc.);
- correlazioni fra le concentrazioni degli inquinanti e le condizioni meteorologiche (intensità e direzione del vento) al fine di identificare le sorgenti responsabili;
- confronto con i valori obiettivo e valori limite previsti dalla legislazione vigente e con soglie elaborate all'interno della attività di monitoraggio e riviste periodicamente.

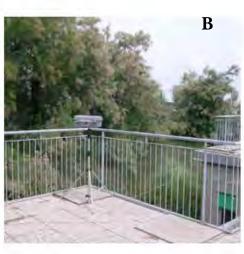
Di seguito vengono destritti in dettaglio i materiali ed i metodi utilizzati per i singoli paramnetri rilevati e per la tecnica di modellazione impiegata.

Monitoraggio del PM_{10}

Il PM_{10} rappresenta la frazione di particolato atmosferico con dimensioni inferiori a 10 µm ed ha una elevata probabilità di essere inalato e quindi di penetrare all'interno delle vie respiratorie. Diversi studi epidemiologici riportano correlazioni fra le concentrazioni di PM_{10} e la frequenza di effetti sanitari negativi (Pope and Dockery, 2006; Aphekom 2011). Per questo, a partire dal 1994 (DM 25/11/94), la legislazione italiana sulla qualità dell'aria ha introdotto l'obbligo di monitorare il PM_{10} in sostituzione delle polveri totali sospese.
La frazione di particolato PM_{10} è stata monitorata in tempo reale a Punta Sabbioni, da dicembre 2004 ad aprile 2013, per mezzo di un campionatore basato sulla diffusione della luce da parte delle polveri campionate (LSPM10, Unitec, Ferrara, Italy, figura 2).
Il sistema di campionamento è costituito da una pompa che aspira l'aria alle portate e alle condizioni previste dalla legislazione italiana (DM 60, 2002 e D.Lgs. 155/2010) permettendo la determinazione, per mezzo della tecnica gravimetrica, del contenuto di polveri PM_{10} sul filtro. Prima di raggiungere il filtro le particelle percorrono una camera di misura attraversata da un fascio di luce bianca; l'interazione della radiazione luminosa con il particolato aerosospeso provoca un segnale diffuso che viene elaborato e conver-

2. Stazione di monitoraggio del PM_{10} a Punta Sabbioni (Circolo Vela).

3. Stazioni di monitoraggio del PM_{10} lungo la strada dei Murazzi (A), e presso le abitazioni (B).

tito in una concentrazione di aerosol. La centralina fornisce una concentrazione media oraria di PM_{10} con la possibilità di accedere al dato non elaborato di concentrazione di particolato alla frequenza di una misura ogni 6 minuti.
A fianco del campionatore di particolato è stata posizionata una stazione meteorologica (MET 3000R) equipaggiata con sensori standard (direzione e velocità del vento, temperatura, pressione ed umidità dell'aria). I valori orari medi acquisiti sono disponibili sia su computer che on line.
Sono state considerate per il PM_{10} tre diverse soglie di riferimento: il valore limite legislativo di 50 µg m^{-3} come concentrazione media giornaliera; una soglia di concentrazione media oraria ottenuta dalle concentrazioni in assenza di attività lavorative nel periodo temporale dalle ore 8 alle ore 20 (soglia diversa per i mesi invernali ed estivi); una soglia per il sollevamento eolico, ottenuta dalle concentrazioni medie misurate prima dell'inizio delle attività cantieristiche in condizioni di vento con velocità superiori a 4 m s^{-1} e vento proveniente dalla spiaggia di Punta Sabbioni.
Al fine di monitorare eventuali rilasci di breve durata (anche inferiori all'ora) di polveri PM_{10} dalle aree di cantiere verso recettori sensibili (centri abitati, case di cura, ristoranti, ecc) sono state svolte delle campagne di misura su base mensile (un campionamento della durata di due/tre giorni al mese) alternando la bocca di Lido con quella di Malamocco, con due centraline mobili funzionanti in parallelo (Dust Track, TSI), anche esse basate sulla diffusione della luce. Le misure sono state svolte nel periodo compreso tra maggio 2006 ed aprile 2011. Lo schema generale di misura prevedeva il posizionamento di una centralina all'interno di uno dei cantieri mentre la seconda nei pressi dei recettori sensibili.

4. Dust Track all'interno del cantiere (A) e presso la casa di cura Santa Maria del Mare (B).

La figura 3 mostra un caso particolare di impiego delle centraline mobile lungo la strada dei Murazzi sull'isola di Pellestrina, nel centro abitato, per determinare il contributo di PM_{10} alle abitazioni presenti lungo la strada, dovuto al passaggio di mezzi pesanti impiegati nel cantiere del MOSE (MAG.ACQUE-CORILA, 2009).
La figura 1 mostra la posizione delle centraline per la misura della concentrazione di PM_{10} a Malamocco. La stazione POLV16 è collocata all'interno del cantiere, mentre l'altra stazione (POLV15) è situata vicino alla casa di cura Santa Maria del Mare (figura 4: sulla sinistra POLV15 e sulla destra POLV16).

Composizione elementale del PM_{10}

Studi sperimentali, sia in vitro che in vivo, hanno evidenziato effetti dannosi per la salute umana dovuti alla presenza di Cadmio, Nichel, Arsenico e Piombo nel particolato inalato (Air Quality in Europe, 2013). Per questo motivo la normativa prevede di misurare il contenuto dei metalli pesanti nel PM_{10}. La presenza di specifici elementi, oltre a identificare il rischio per la salute umana, può contribuire ad identificare le sorgenti di PM_{10} (Querol e*t al.*, 2004; Contini *et al.*, 2012).
I campionamenti di PM_{10} per la determinazione della sua composizione elementale (in particolare di metalli pesanti) sono stati periodicamente svolti alle tre bocche della laguna: Chioggia, Malamocco e Punta Sabbioni.
I tre siti di campionamento, ubicati nei pressi dei rispettivi cantieri del MOSE, risultano approssimativamente allineati lungo la direttrice NNE-SSW e distanziati l'uno dall'altro circa 12 km (figura 1). I campioni giornalieri sono stati raccolti dal 2007 al 2014 in diverse campagne di misura (generalmente della durata di due settimane ciascuna), distribuite fra la stagione invernale (gennaio/febbraio) e quella estiva/autunnale (settembre/ottobre) di ciascun anno di monitoraggio.
I campionamenti sono stati svolti utilizzando centraline sequenziali (16 filtri di capacità) a basso volume (Skypost PM-TCR Tecora) alla portata di 2.3 m^3 h^{-1} (figura 5). Le polveri sono state raccolte su filtri in fibra di quarzo Sartorius (diametro 47 mm) preventivamente decontaminati in laboratorio, secondo la procedura descritta da Capodaglio *et al.* (1994) e Buccolieri *et al.* (2005), e prepesati con bilancia analitica (risoluzione $\pm$ 10 µg). Dopo il campionamento i filtri (compresi i bianchi di campo) sono stati nuovamente pesati per la determinazione gravimetrica e successivamente analizzati per la determina-

5. Campionatore sequenziale di PM_{10} utilizzato nei monitoraggi del MOSE.

zione degli elementi inorganici.
Le concentrazioni di Vanadio (V), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Cobalto (Co), Nichel (Ni), Rame (Cu), Zinco (Zn), Arsenico (As), Molibdeno (Mo), Cadmio (Cd), Antimonio (Sb), Tallio (Tl) e Piombo (Pb) nel PM_{10} sono state determinate mediante spettrometria di massa (ICP-QMS, Agilent 7500I) presso l'Istituto di Dinamica dei Processi Ambientali del CNR (IDPA-CNR, Venezia).
Anche se il monitoraggio non è stato effettuato continuativamente nell'anno per motivi di carattere logistico ed economico, i valori obiettivo di Ni, As, Cd e il valore limite per il Pb, indicati nei decreti DM 60 e D.Lgs 155/2010, sono stati considerati come valori di riferimento. Al fine di evidenziare eventuali contributi dovuti alle attività cantieristiche sono state confrontate le medie giornaliere relative ai periodi di attività con quelle dei periodi di sospensione dei cantieri stessi.

Idrocarburi Policiclici Aromatci (IPA)

Gli Idrocarburi Policicli Aromatici sono composti ad alto peso molecolare. La pericolosità di alcuni IPA deriva dalla loro semi-volatilità che li rende particolarmente mobili attraverso le varie matrici ambientali. Il particolato atmosferico per la sua elevata superficie specifica presenta una elevata capacità di adsorbimento degli IPA. L'Agenzia per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha fino ad ora classificato 48 diversi IPA come probabili o possibili cancerogeni per l'uomo (IARC, 2009).
Gli IPA sono stati raccolti per mezzo di un campionatore ad alto volume (AirFlowPUF, Tish Environmental Inc., Village of Cleves, OH) che permette di separare la fase gassosa e la fase aerosol (figura 6). Quest'ultima viene raccolta su filtri in fibra di quarzo (QFF) della porosità di 1 um e del diametro di 102 mm (SKC Inc.), mentre la fase gassosa è raccolta su una spugna in poliuretano (PUF) dello spessore di 75 mm e diametro di 65 mm (SKC Inc.). Il sistema di campionamento mantiene una portata costante di 0.3 m^3 min^{-1}. L'estrazione degli IPA dai PUF e dai filtri è stato effettuato presso il Centro Studi Microinquinanti Organici (CSMO) di Voltabarozzo (Pd), utilizzando il metodo EPA 8270 D.
Il campionamento degli IPA è stato effettuato per un periodo di 10 anni, da novembre 2005 a novembre 2014, nei siti PAH1 a Punta Sabbioni e PAH2 a Malamocco (figura 1). Ogni anno sono state svolte 2-3 campagne, della durata di 14 giorni, a seconda delle

6. Campionatore ad alto volume per gli IPA a Malamocco.

attività cantieristiche in atto. Durante ogni campagna sono stati raccolti 8 filtri (48/72 ore di campionamento ciascuno). Dato che le concentrazioni degli IPA in atmosfera seguono un andamento stagionale, con valori più elevati nei periodi freddi dell'anno per le emissioni da riscaldamento domestico, e la loro ripartizione fra la fase gassosa e quella particellata è dipendente dalla temperatura atmosferica, le campagne di misura sono state condotte sempre negli stessi periodi dell'anno: in settembre e gennaio/febbraio a Malamocco, in novembre e febbraio a Punta Sabbioni. A partire dal mese maggio 2014 la concentrazione di IPA è stata misurata soltanto presso il cantiere di Malamocco poiché l'attività cantieristica a Punta Sabbioni era notevolmente ridotta.
La legislazione nazionale (D.Lgs. 155/2010) stabilisce un valore obiettivo annuale per il Benzo(a)Pyrene (BaP) nella frazione PM_{10} di 1 ng m^{-3}. Dato che all'inizio del monitoraggio era stato previsto di controllare la concentrazione di BaP nel particolato totale, e non nel PM_{10}, si è deciso di non modificare lo schema di misura per favorire la continuità storica dei dati acquisiti. La misura di BaP nel particolato totale risulta inoltre più conservativa rispetto alla determinazione del contenuto di BaP nel solo PM_{10}.
I valori ottenuti per il BaP sono stati confrontati con le concentrazioni medie mensili ottenute da ARPAV nelle stazioni di Circonvallazione e Bissuola: è stata utilizzata la concentrazione media mensile del mese nel quale sono stati effettuati i campionamenti per il monitoraggio dei cantieri del MOSE in considerazione della forte dipendenza degli IPA dalla temperature dell'atmosfera.

Composti gassosi

Il D.Lgs. 155/2010 prevede anche il monitoraggio di composti gassosi, fra i quali:

- il biossido di azoto (NO_2), il cui valore limite orario di 200 μg m^{-3} non può essere superato più di 18 volte/anno e il valore limite annuale deve essere pari a 40 μg m^{-3};
- il monossido di carbonio (CO), il cui valore limite di 10 mg m^{-3} va inteso come media massima giornaliera (su 8 ore);
- gli ossidi di azoto (NOx), il cui valore limite per la vegetazione è pari a 30 μg m^{-3} all'anno.

I campionamenti di questi composti gassosi, dovuti alle emissioni dei mezzi navali e terrestri ma anche alle emissioni industriali, sono stati effettuati utilizzando un sensore a stato solido a film sottile (ETL2000, Unitech srl, Ferrara) che permette una risoluzione temporale oraria (figure 1 e 7). I dati sono stati raccolti da maggio 2006 ad aprile 2014, con cadenza mensile (una settimana di campagna di misura), presso Punta Sabbioni e Malamocco.

7. Centralina per la misura dei gas. Punta Sabbioni (A) e Malamocco (B).

La validità dei dati acquisiti è stata verificata considerando la soglia minima di rilevabilità dei sensori utilizzati, cioè 0.1 mg m^{-3} per CO, 10 μg m^{-3} per NOx e 5 μg m^{-3} per NO_2. I valori di concentrazione ottenuti sono stati confrontati con i valori limite previsti dalla legislazione vigente per ogni singolo composto (D.Lgs. 155/2010). Anche in questo caso, sono stati confrontati i valori di concentrazione dei diversi composti misurati nei giorni lavorativi (dalle 8 alle 20) con i valori di concentrazione misurati nei periodi di inattività degli stessi giorni (dalle 21 alle 7 di ogni giorno), nei giorni festivi e durante le ferie.

Deposizioni atmosferiche

Al fine di verificare eventuali ricadute di inquinanti, organici ed inorganici, sui terreni circostanti i cantieri, si sono monitorate le deposizioni atmosferiche.
Sono stati utilizzati deposimetri passivi, posizionati ad un metro dal suolo, composti da due contenitori: uno in polietilene per i composti inorganici e l'altro in vetro per i composti organici (figura 8). Prima della raccolta, il contenitore in polietilene è stato ripetutamente lavato con acqua Milli-Q al 2% di acido nitrico (HNO_3 Suprapure), mentre quello in vetro è stato pulito con solventi organici. Al termine del periodo di raccolta le quantità depositate sono state versate in contenitori di polietilene a bassa densità (LDPE) per i composti inorganici e in vetro per i composti organici. Le quantità raccolte sulle pareti sono state lavate e filtrate su filtri in nitrato di cellulosa (contenitore inorganici) o su filtri in fibra di quarzo (contenitore organici).
La raccolta delle deposizioni atmosferiche è avvenuta per un periodo di 5 anni, da giugno 2005 a marzo 2010. Sono state effettuate due campagne all'anno (giugno-ottobre e dicembre-marzo) ed in ciascuna sono stati ottenuti tre campioni, la cui raccolta è durata un mese ciascuno. Complessivamente sono stati raccolti più di cento campioni in sei diversi siti delle bocche di porto della laguna. La figura 1 mostra la posizione della raccolta delle deposizioni atmosferiche: i deposimetri D1-D4 sono stati posizionati presso la bocca di Lido, D5 presso Malamocco e D6 a Chioggia.
Per studiare eventuali contributi dovuti al cantiere ed il loro andamento spaziale, presso Punta Sabbioni sono stati posizionati quattro deposimetri a diverse distanze dal cantiere: il deposimetro D1, posizionato all'interno dell'area cantieri, per monitorare le emissioni dirette; D2 posizionato diverse centinaia di metri da D1 all'esterno dell'area cantieri; D3 alla stessa distanza da D1 ma in posizione sopraelevata (circa 3 m dal suolo) per evitare interferenze locali; D4 posizionato alla distanza di circa 2 km dai cantieri in un'area non interessata da emissioni dirette (scuola elementare S. Pertini, Punta Sabbioni). Questi deposimetri hanno raccolto le deposizioni atmosferiche in simultanea da gennaio 2005 a maggio 2006.
I dati di precipitazione sono stati registrati dalla stazione meteorologica posizionata a Punta Sabbioni (Circolo Vela), vicino ai deposimetri D2 e D3, dalla stazione di misura dell'ARPAV vicino al deposimetro D4 e dalla stazione di Ceppe (gestita dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti-ex Magistrato alle Acque di Venezia) vicino al deposimetro D5.
Le analisi dei microinquinanti organici sono state condotte presso il Centro Studi Microinquinanti Organici (CSMO) di Voltabarozzo (Pd) mentre le analisi degli inquinanti inorganici presso l'Istituto IDPA del CNR (la metodologia seguita è riportata in Gambaro *et al.*, 2009).
Dato che non esistono limiti legislativi per le deposizioni atmosferiche, sono stati considerati i limiti in vigore in alcuni paesi della Comunità Europea (EC, 2001) e dati ottenuti dalla letteratura scientifica (Rossini *et al.*, 2005; Rossini *et al.*, 2005b; MAG. ACQUE, 2009).

8. Deposimetro bulk per la misura dei flussi di deposizione atmosferica a Punta Sabbioni.

Elaborazioni modellistiche

Le tecniche di modellazione sono un importante strumento di aiuto per la valutazione della qualità dell'aria, secondo la Direttiva sulla valutazione e gestione della qualità dell'aria 96/62/CE recepita in Italia con il D.Lvo. 4 agosto 1999 n. 351, e rappresentano uno strumento fondamentale per la realizzazione di piani e programmi di miglioramento e mantenimento della qualità dell'aria, secondo le indicazioni del DM 60 del 2002. Più recentemente, in seguito all'adozione della nuova Direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, il D.Lgs. 155/2010 ha riorganizzato tutta la materia, definendo in particolare nuovi "criteri per l'utilizzo dei metodi di valutazione diversi dalle misurazioni in siti fissi", con particolare riferimento alle tecniche di modellizzazione.
Pur con le innumerevoli incertezze intrinseche nel modello (le equazioni fisiche e chimiche vengono inserite nel modello tramite formule approssimate, le variabili spaziali e temporali sono discretizzate) ed esterne (incertezza sull'input meteorologico e sulla stima delle emissioni di inquinanti), i risultati di un calcolo modellistico forniscono informazioni che un monitoraggio tramite misure dirette, effettuate in singoli punti del territorio, non può dare e, inoltre, permettono di evidenziare il contributo complessivo delle diverse fonti inquinanti. In sintesi con i modelli di diffusione è possibile:

- ottenere campi di concentrazione anche nelle aree all'interno delle zone ove non esistano stazioni di misurazione o estendere la rappresentatività spaziale delle misure stesse;
- comprendere le relazioni tra emissioni e immissioni, discriminare i contributi delle diverse sorgenti alle concentrazioni in una determinata area (source apportionment) e determinare i contributi transfrontalieri e quelli derivanti da fenomeni di trasporto su larga scala (per esempio, le polveri sahariane);
- integrare e combinare le misurazioni effettuate tramite le stazioni di misurazione in siti fissi, in modo tale da ridurne il numero;
- valutare la qualità dell'aria nelle zone in cui non sono presenti stazioni di misurazione;
- prevedere la qualità dell'aria sulla base di scenari ipotetici di emissione o in funzione di variazioni delle condizioni meteorologiche;
- valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni in atmosfera.

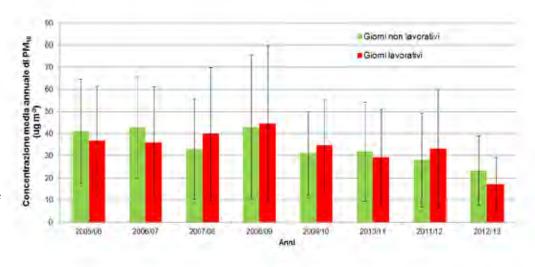
Un modello numerico è costituito da equazioni, risolte al calcolatore, che traducono le relazioni tra le variabili fisiche e chimiche del sistema che si sta studiando (in questo caso l'atmosfera, le sue interazioni con la superficie terrestre e marina, la presenza di sostanze

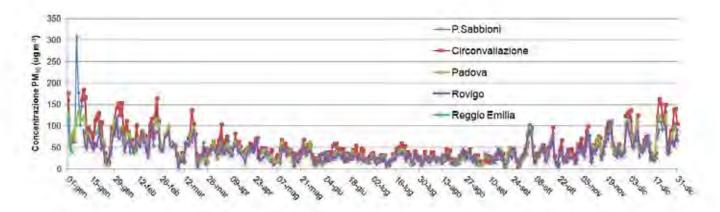
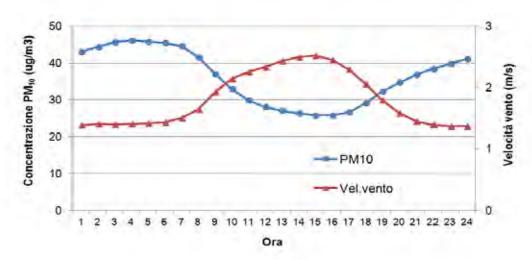
chimiche inquinanti e le reazioni con i componenti dell'atmosfera) e la loro evoluzione temporale. Le variabili in esame devono essere quantificate in modo da descrivere proprio la situazione che si sta analizzando: quindi, nel caso di un modello di dispersione di inquinanti in atmosfera, vanno introdotti nel modello i valori che descrivono le caratteristiche della superficie terrestre o marina della regione esaminata, la quantità delle sostanze emesse dalle varie fonti inquinanti e immesse in atmosfera, e le variabili meteorologiche, che costituiscono il "motore" che porta alla diffusione degli inquinanti.
Per lo studio dell'impatto dei cantieri del MOSE è stato utilizzato il sistema modellistico denominato CALPUFF (Scire *et al.*, 1990a,b), abbinato al suo pre-processore meteorologico CALMET, applicato su tre aree geografiche dell'ampiezza di 20x20 km^2 comprendenti le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia.
CALPUFF è un modello di dispersione atmosferica non stazionario e multispecie che simula gli effetti di una meteorologia variabile nello spazio e nel tempo sul trasporto, la trasformazione e la rimozione degli inquinanti. CALPUFF viene utilizzato su scale che vanno dalle centinaia di metri alle centinaia di chilometri dalle sorgenti. Esso include sia algoritmi su scale spaziali ridotte, sia algoritmi su grandi scale spaziali (rimozione degli inquinanti per effetto di deposizione umida e secca, trasformazione chimica).
CALPUFF e CALMET sono stati considerati dall'EPA (Environmental Protection Agency), nelle linee guide sui modelli della qualità dell'aria, come modelli preferiti. Sono ampiamente utilizzati anche nel nostro paese e in particolare, fra gli altri, la Agenzia Regionale ARPA Veneto li utilizza quale strumento modellistico a supporto decisionale per le politiche della qualità dell'aria.
CALPUFF può descrivere sorgenti puntiformi, volumetriche, areali e lineari. Un sistema modellistico come CALMET/CALPUFF può correttamente riprodurre fenomeni quali la stagnazione degli inquinanti (calme di vento), il ricircolo dei venti, e la variazione temporale e spaziale delle condizioni meteorologiche.
Il modello viene implementato con le caratteristiche morfologiche della regione di interesse tramite matrici di orografia e uso del suolo.
Le informazioni necessarie per l'applicazione modellistica sono costituite dai dati meteorologici, provenienti da stazioni al suolo e da misure in quota, che il modello diagnostico CALMET provvede ad interpolare su tutto il dominio di calcolo. I dati al suolo sono ottenuti da 40 stazioni (con anemometro a 10 m di altezza in pianura e a 5 m di altezza in zona montuosa) di cui 9 stazioni sinottiche dell'Aeronautica Militare e 30 stazioni della rete del Centro Meteorologico di Teolo; a questi si aggiungono i dati della stazione off-shore gestita dal Comune di Venezia e posizionata sulla piattaforma del CNR al largo della laguna di Venezia e i dati delle stazioni 5 e 23 gentilmente forniti dall'Ente Zona Industriale di Porto Marghera. Per i dati verticali CALMET è inizializzato con tre radiosondaggi (Milano-Linate, Udine-Campoformido e Bologna-San Pietro Capofiume).
L'uscita di CALMET permette di predisporre, con cadenza oraria, l'input meteorologico e micrometeorologico per il modello di dispersione CALPUFF. Quest'ultimo richiede come dati ingresso le caratteristiche delle sorgenti emissive (tipologia, durata ed intesnità). Nel caso in esame ciò ha richiesto la quantificazione delle attività dei cantieri (utilizzo di mezzi a motore, sia terrestri che acquei, presenza di aree sterrate su cui la circolazione dei mezzi e l'azione del vento provoca risollevamento di polveri), a partire dalla quale si effettua, applicando metodologie riportate nella letteratura tecnica e scientifica, una stima dei quantitativi di inquinanti (ossidi di azoto e polveri) immessi in atmosfera. Per la stima delle emissioni legate alle attività dei cantieri, secondo quanto previsto nel Disciplinare Tecnico, sono stati forniti i dati relativi ai mezzi impiegati in ciascun cantiere, suddivisi per zone di lavoro e mesi, in termini di numero di mezzi per numero di giorni e percentuali di utilizzo. La procedura applicata per stimare i diversi fattori di emissione fa riferimento alla metodologia EMEP-CORINAIR (European Monitoring

and Evaluation Programme-CORe INventory AIR emissions).
Inoltre, per l'applicazione dello schema chimico che porta alla determinazione delle concentrazioni di NOx e NO_2, sono richiesti i valori di ozono misurati in una o più stazioni di riferimento per l'area in esame. Le emissioni di PM_{10} primario e NOx da combustione nei mezzi di cantiere vengono modellizzate come sorgenti volumetriche, mentre le emissioni di PM_{10} per risollevamento da aree sterrate sono più adeguatamente introdotte nel modello come sorgenti areali.

Risultati

Monitoraggio del PM_{10}

La figura 9 riporta il valore medio delle concentrazioni orarie di PM_{10} nel periodo 2005-2013. Le medie orarie sono state suddivise fra giorni lavorativi e giorni non lavorativi (festività, periodo di ferie). La suddivisione fra periodi di lavoro e di chiusura dei cantieri ha lo scopo di evidenziare eventuali incrementi nel livello medio di concentrazione delle polveri nel caso di rilascio da parte dei cantieri.
Come si nota dalla figura, i risultati non mettono in evidenza differenze statisticamente significative tali da evidenziare un diverso andamento nelle concentrazioni di particolato fra giorni di attività di cantiere e periodi di cantiere chiuso.
Un aspetto interessante, emerso durante gli anni di monitoraggio, riguarda la correlazione spaziale fra i livelli di concentrazione. La figura 10 riporta, per l'anno 2007, preso a titolo di esempio, le concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} in diverse stazioni di misura: quella relativa al monitoraggio dei cantieri (Punta Sabbioni) e quelle gestite dalle ARPA Veneto ed Emilia-Romagna. I risultati ottenuti applicando il coefficiente di correlazione lineare evidenziano una correlazione significativa (maggiore di 0.75) fra le concentrazioni di PM_{10} misurate tra Punta Sabbioni e quelle misurate a Rovigo, mentre la correlazione tra le concentrazioni di PM_{10} misurate tra Punta Sabbioni e quelle misurate nelle stazioni di Reggio Emilia risulta inferiore (dell'ordine di 0.6). Ciò significa che esiste un andamento simile fra le concentrazioni di particolato presenti nella laguna di Venezia e nella regione Veneto, mentre per quanto riguarda l'Emilia-Romagna la meteorologia risulta disaccoppiata da quella presente nel Veneto.
Infatti, la maggior parte dei superamenti medi giornalieri di PM_{10} a Punta Sabbioni (concentrazioni superiori a 50 $\mu g\ m^{-3}$) avvengono anche in altre stazioni del Veneto e quindi non sono dovuti ai cantieri quanto piuttosto ad una situazione di inquinamento a scala regionale.

9. Concentrazioni medie di PM_{10} per anno di monitoraggio suddivise fra periodi lavorativi e non lavorativi a Punta Sabbioni. Nel grafico è riportata anche una deviazione standard rispetto alla media.

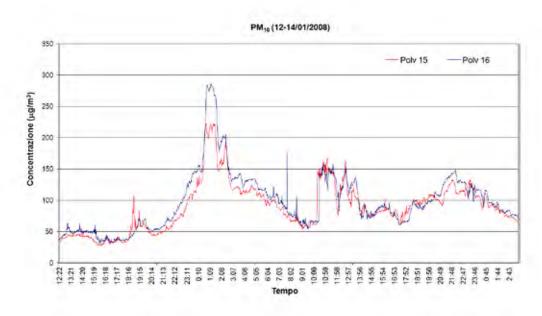
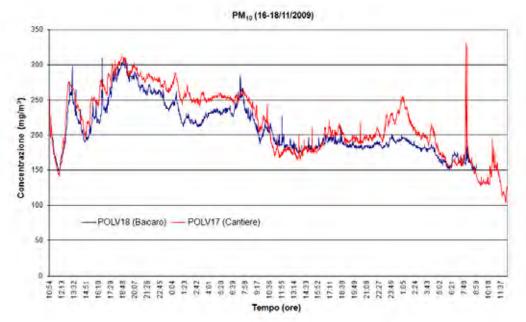
10. Concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} in diverse stazioni di monitoraggio (anno 2007).

La figura 11 mostra la concentrazione di PM_{10} e la velocità del vento del "giorno tipo", ottenuto considerando i dati dell'intero periodo di campionamento. Si osserva una anticorrelazione fra i livelli di concentrazione e la velocità del vento: in condizioni di maggiore intensità del vento i valori di concentrazione di particolato diminuiscono. Inoltre si osserva il tipico andamento presente in condizioni di brezza di mare: nella parte centrale della giornata la brezza marina provoca la diminuzione dell'inquinamento, mentre nelle ore notturne si hanno valori di concentrazione di PM_{10} più elevate; ciò è dovuto principalmente alla minore turbolenza dell'atmosfera nelle ore notturne a seguito della assenza della radiazione solare. Quindi in queste ore il rimescolamento dell'atmosfera risulta minore rispetto alle ore diurne determinando un accumulo delle sostanze inquinanti rilasciate al suolo. Occorre notare, come rilevato in letteratura (Santi *et al.*, 2010), che i sistemi ottici di misura del particolato sono influenzati dalla umidità relativa e quindi, in presenza di valori elevati di quest'ultima, le concentrazioni possono aumentare; per questo motivo l'impiego di sensori ottici di particolato risulta significativo in un contesto di confronto fra valori relativi, come svolto durante il monitoraggio, piuttosto che considerare i singoli valori assoluti delle concentrazioni.
Al fine di evidenziare eventuali eventi di emissione di particolato da parte del cantiere di Punta Sabbioni, alla scala temporale oraria, è stato valutato l'andamento della serie temporale delle concentrazioni medie orarie di particolato. In particolare è stato considerato sia il confronto, come già detto, fra le concentrazioni misurate in orari di attività e di non attività dei cantieri, sia incrementi improvvisi dei livelli di concentrazione (superamento del valore limite orario) in presenza di vento proveniente dalla direzione dove si trova il cantiere rispetto al sensore di misura.
Ciascuno di questi eventi è stato analizzato e, in presenza di valori o andamenti "ano-

11. Giorno tipo a Punta Sabbioni per il PM_{10} e la velocità del vento.

12. Esempio di rilascio di polveri dovuto al transito di mezzi pesanti all'interno del cantiere di Punta Sabbioni.

mali", è stato inviato alla Direzione Lavori dei cantieri un Rapporto di Anomalia, con la richiesta di avere dettagli sulle attività svolte in quel dato momento. Nella maggiore parte dei casi tali eventi sono risultati conseguenti alle particolari condizioni atmosferiche presenti nel territorio e non dovuti alle specifiche attività in corso in cantiere in quel dato momento.

Durante il monitoraggio sono state considerate anche le concentrazioni di particolato ad una scala temporale ancora più breve (minuto) al fine di evidenziare brevi rilasci da parte dei cantieri non visibili nel processo di media giornaliera o oraria. Scopo principale di questa tipologia di monitoraggio, confrontando livelli di concentrazione di particolato all'interno ed all'esterno dei cantieri nelle stesse condizioni, è quello di evidenziare episodi acuti di trasporto di polveri quali quelli evidenti nella figura 12 dovuti, in questo caso, al passaggio di mezzi pesanti su percorsi non asfaltati.

Occorre sottolineare che le concentrazioni di polveri misurate con le due centraline mobili non sono confrontabili direttamente con i valori ottenuti con il metodo gravimetrico (previsto dalla normativa vigente). Infatti i valori, fra queste due diverse metodiche, possono differire notevolmente sia per l'interferenza dell'umidità relativa, già citata, sia per la diversa risposta fornita dai due metodi (quello ottico e quello gravimetrico).

La figura 13 riporta un tipico esempio di monitoraggio, eseguito a Malamocco dal 12

13. Misure di polveri effettuate con le centraline mobili (Dust Track): POLV16 posizionato all'interno del cantiere e POLV15 all'esterno.

14. Misure di polveri effettuate con le centraline mobili (Dust Track): POLV17 posizionato all'interno del cantiere e POLV18 all'esterno.

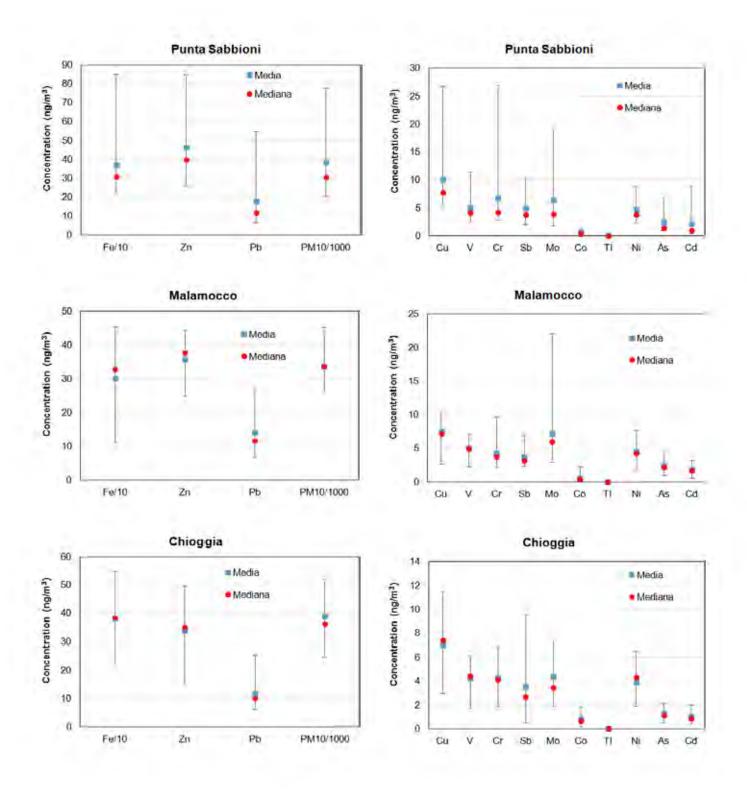
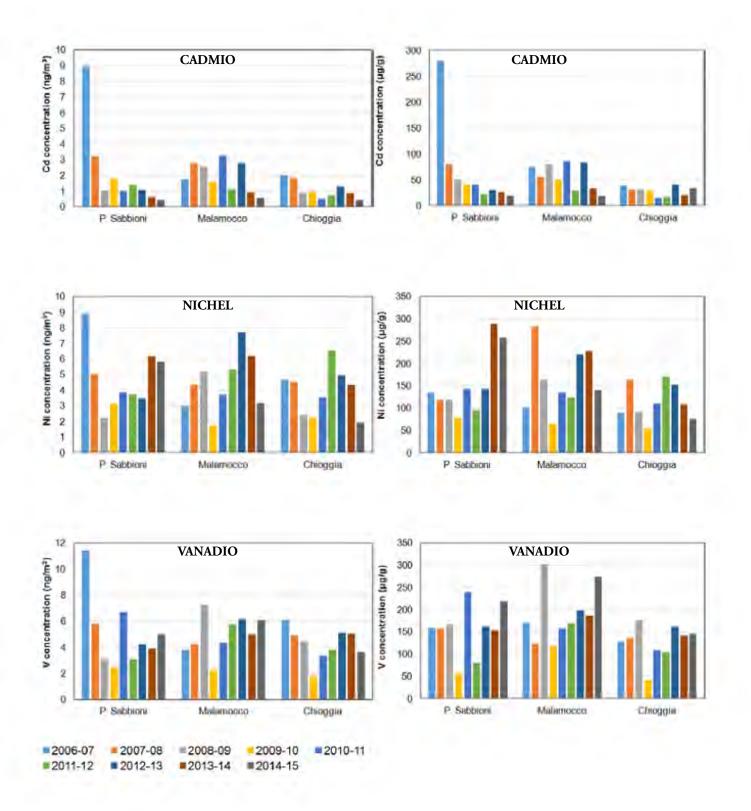
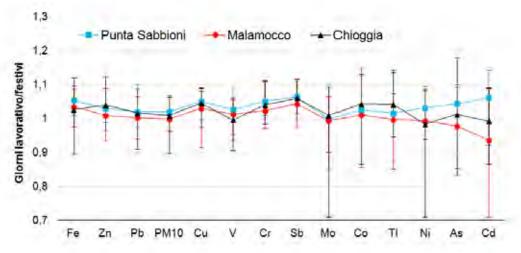
al 14 gennaio del 2008. Si osserva una sovrapposizione fra le misure ottenute all'interno ed all'esterno del cantiere sia durante le ore notturne che diurne, non evidenziando quindi episodi di trasporto di polveri.
Viceversa la figura 14 riporta un tipico esempio di monitoraggio eseguito a Punta Sabbioni dove risulta evidente un picco di concentrazione di polveri all'interno del cantiere.
Si possono osservare, in entrambi i grafici, dei picchi di concentrazione nelle prime ore del mattino, misurati dalla centralina posizionata all'interno del cantiere. È probabile siano dovuti all'avvio delle macchine di cantiere. Non sono stati comunque osservati eventi di trasporto di polveri verso l'esterno.
La maggior parte delle emissioni di breve periodo all'interno dei cantieri sono dovute al passaggio dei veicoli pesanti o al sollevamento eolico. Per limitare questi episodi risulta fondamentale adottare azioni di mitigazione che, in questo caso, prevedono l'umidificazione dei terreni (figura 15). I monitoraggi di breve periodo hanno permesso quindi di verificare l'applicazione di tali azioni di mitigazione, cosa che non sarebbe stato possibile evidenziare utilizzando metodi più tradizionali di misura basati su medie giornaliere.

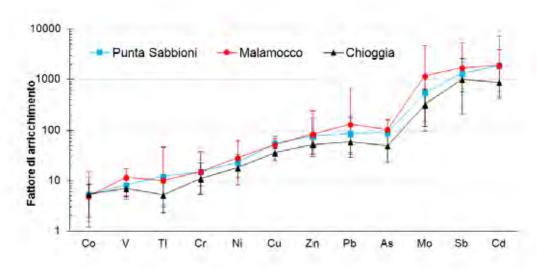
15. Bagnatura del terreno all'interno di una area di cantiere per limitare la risospensione di polveri a causa del passaggio di veicoli pesanti.

Composizione elementale del PM_{10}

I campionamenti di PM10 per la determinazione della composizione elementale sono stati effettuati in postazioni prossime ai cantieri fra il 2006 e il 2015 alle tre bocche di porto: Punta Sabbioni, Chioggia e Malamocco.
I risultati medi dei 10 anni di monitoraggio sono riportati nella figura 16.
Gli elementi Ni, As, Cd, e Pb sono soggetti a limiti legislativi (D.Lgs. 155/2010) che identificano valori obiettivo per Ni, As, e Cd ed il valore limite per il Pb.
Nella Tabella 1 sono riportate le concentrazioni medie ottenute presso i siti di misura e quelle determinate da ARPAV presso i siti della propria rete di monitoraggio della qualità dell'aria. Le concentrazioni ottenute nel corso del presente studio sono confrontabili con quelle determinate da ARPAV e paragonabili a quelle ottenute in precedenti studi svolti nell'area lagunare. A titolo di esempio si riporta il caso del Nichel la cui concentrazione, pari a 5, 4 e 14 ng m^{-3}, è stata determinata in 3 diversi studi svolti al Lido rispettivamente da Rampazzo *et al.* (2008), Masiol *et al.* (2010) e Toscano *et al.* (2011), tutti valori confrontabili con quanto misurato durante il monitoraggio.
Le concentrazioni misurate durante il monitoraggio sono risultate perciò all'interno dei rispettivi valori obiettivo e limite legislativo, anche se è da osservare che tale confronto è di natura qualitativa in quanto le campagne effettuate non coprono l'anno solare, come invece prevede la normativa.
La figura 17 mostra gli andamenti delle concentrazioni assolute e relative (cioé il rapporto fra le concentrazioni di ogni elemento e la concentrazione di PM_{10}) per Cd, Ni, e V presso i tre siti di misura alle bocche di porto. Il primo valore (secondo anno di monitoraggio), per quanto riguarda Punta Sabbioni, è relativo ad una sola campagna di misura e quindi meno significativo rispetto agli altri anni. Si osserva un decremento nella concentrazione del Cd a Punta Sabbioni non visibile presso gli altri siti, mentre le concentrazioni di Ni mostrano, sempre a Punta Sabbioni, un generale incremento nel corso degli anni di monitoraggio (incremento meno visibile a Malamocco), che non è tuttavia correlato con un incremento delle concentrazioni di Vanadio.
Vanadio e Nichel sono frequentemente utilizzati come traccianti di emissioni dovute alla combustione di motori diesel, incluse le emissioni da traffico marittimo (Viana *et al.*, 2009; Cesari *et al.*, 2014).
I valori misurati nei giorni lavorativi sono stati confrontati con quelli dei giorni di assenza di attività cantieristica. Nella figura 18 sono riportati i rapporti fra le due medie. Si osserva che le concentrazioni medie nei giorni lavorativi sono di poco superiori a

Tabella 1. Concentrazioni medie (ng m^{-3}) dei metalli rilevate nei siti di misura (Chioggia, Malamocco, Punta Sabbioni) e in alcuni siti della rete di Monitoraggio dell'ARPA Veneto.

Elemento	Chioggia	Malamocco	Punta Sabbioni	ARPA Veneto (Relazioni Qualità dell'aria 2005-2014)		
				A. Da Mestre	Bissuola	Via Circonvallazione
Nichel	**3.9** (STD 1.5)	**4.5** (STD 1.8)	**4.7** (STD 2.2)	5.5 (2005)	5.4 (2006), 6.9 (2007), 7.2 (2008), 3.9 (2009), 3.8 (2010), 3.2 (2011), 3.2 (2012), 4.6 (2013), 2.9 (2014)	7.1 (2006), 8.7 (2007), 8.3 (2008)
Arsenico	**1.3** (STD 0.6)	**2.4** (STD 1.0)	**2.4** (STD 1.9)	2.9 (2005)	4.5 (2006), 3.4 (2007), 3.0 (2008), 2.3 (2009), 1.8 (2010), 2.2 (2011), 2.1 (2012), 2.9 (2013), 2.1 (2014)	4.3 (2006), 3.5 (2007), 2.7 (2008)
Cadmio	**1.1** (STD 0.6)	**1.9** (STD 1.0)	**2.2** (STD 2.7)	3.7 (2005)	4.1 (2006), 3.5 (2007), 2.8 (2008), 1.9 (2009), 1.6 (2010), 1.7 (2011), 1.4 (2012), 1.3 (2013), 1.8 (2014)	4.2 (2006), 3.2 (2007), 2.4 (2008)
Piombo	**11.9** (STD 6.3)	**14.0** (STD 6.2)	**18** (STD 15.5)	20.1 (2005)	25.4 (2006), 19.0 (2007), 20.0 (2008), 13.8 (2009), 13.8 (2010) 13.4 (2011), 9.0 (2012), 9.0 (2013), 8.0 (2014)	27.8 (2006), 26.2 (2007), 20.0 (2008)

16. Valori mediani e medi di concentrazioni dei metalli nel PM_{10} misurate alle tre bocche di porto. La barra di errore rappresenta l'intervallo minimo-massimo della variabilità delle concentrazioni. Il Fe è riportato dividendo la concentrazione per un fattore 10 ed il PM_{10} è riportato in µg/m³.
Le barre di errore mostrano la variabilità dei dati ottenuti (intervallo minimo-massimo) rispetto alla media.

17. Andamenti nelle concentrazioni medie assolute (a sinistra) e relative (a destra) di cadmio (sopra), nichel (in centro) e vanadio (in basso) nel PM_{10} nei tre siti di misura nel corso degli anni di monitoraggio, dal 2006 al 2015.

18. Media dei rapporti fra le concentrazioni degli elementi analizzati nel PM_{10} ottenute nei giorni lavorativi e quelle ottenute nei giorni festivi.

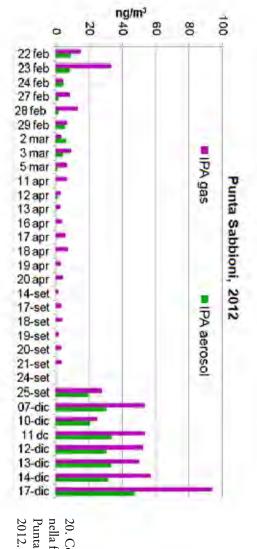
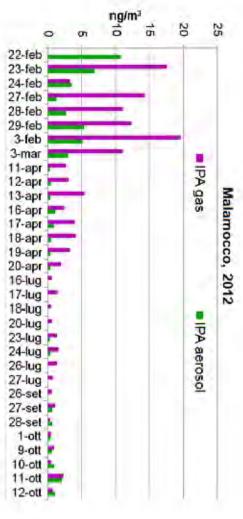
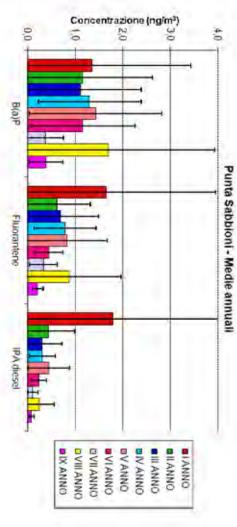
quelle dei giorni festivi ma all'interno della variabilità dei dati (barre degli errori); perciò non si osservano differenze statisticamente significative fra i due periodi.
Sono state anche confrontate le concentrazioni medie, per ciascun elemento, separando le situazioni nelle quali la stazione di misura era sottovento rispetto ai cantieri dalle altre direzioni del vento. Anche in questo caso non si sono rilevate differenze statisticamente significative fra i diversi settori di provenienza del vento (Contini *et al.*, 2012).
I fattori di arricchimento crostale "crustal enrichment factors-EFs" sono stati calcolati per identificare contributi antropogenici. I valori di EF possono fornire informazioni sull'origine antropogenica di alcuni elementi e quindi sulle possibili sorgenti di emissioni (Watson *et al.*, 2002, Lu *et al.*, 2007). Valori di EF inferiori a 10 indicano una prevalenza di origine crostale, mentre valori superiori a 20 indicano che quell'elemento ha probabilmente un contributo antropico. Infine valori compresi fra 10 e 20 non permettono di discriminare fra i due casi. (Cesari *et al.*, 2012).
La figura 19 mostra i fattori di arricchimento ottenuti, nel corso del monitoraggio dei cantieri del MOSE, prendendo il Fe come elemento di riferimento, la cui concentrazione crostale è ottenuta da Wedepohl (1995). Anche se Si, Al, Fe e Tl sono generalmente impiegati come elementi di riferimento data la loro abbondanza nella crosta terrestre, in questo caso si è scelto il Ferro in quanto nella laguna di Venezia gli altri elementi potrebbero avere una origine anche antropogenica (Rampazzo *et al.*, 2008; Masiol *et al.*, 2010, Stortini *et al.*, 2009, Toscano *et al.*, 2011).
La figura mostra valori di EF superiori a 20 per Cu, Zn, Pb, As, Mo, Sb, Cd, mentre V, Tl, Cr si trovano nella fascia di non decisione e prossimi a rapporti che indicano una

19. Valori medi di EF calcolati alle tre bocche di porto. Le barre degli errori rappresentano la variabilità nel corso degli anni di monitoraggio.

origine crostale. A Malamocco i fattori di arricchimento per il V e il Ni sono superiori rispetto agli altri siti ed è compatibile con un possibile contributo dovuto al traffico marittimo.
L'analisi statistica relativa al contributo delle varie sorgenti sulla concentrazione delle polveri, cosiddetta analisi di "source apportionment", e la correlazione con i dati meteorologici non ha evidenziato contributi specifici dovuti alle attività cantieristiche. Inoltre il confronto statistico fra i risultati delle misure effettuate presso i tre siti mostra una sostanziale omogeneità nella concentrazione dei metalli nell'area lagunare. (Contini *et al.*, 2012).

Idrocarburi Policiclici Aromatci (IPA)

La Tabella 2 riporta i valori medi, minimi e massimi delle concentrazioni di IPA per l'intero periodo di monitoraggio, separando le fasi gas e aerosol.
Le concentrazioni misurate risultano paragonabili a quelle riportate in precedenti studi nella laguna di Venezia (Contini *et al.*, 2011, Gambaro *et al.*, 2004, Gregoris *et al.*, 2014) e inferiori ai dati raccolti in altri siti urbani Europei, quali ad esempio Oporto (Portogallo) con una media di IPA totali di 70 ng m^{-3} (Slezakova et al., 2013) e Kocaeli (Turchia) con una media di IPA totali di 108 ng m^{-3} (Gaga *et al.*, 2012). Le figure 20 e 21 mostrano un esempio dell'andamento giornaliero delle concentrazioni di IPA rilevate alle bocche di porto, sia nella fase gassosa che aerosol, relativo all'anno di monitoraggio 2012.
Risulta evidente un andamento caratterizzato da valori più elevati di IPA nel periodo invernale rispetto ai periodi primaverile ed estivo; tale andamento riflette, come già ricordato, la stagionalità delle sorgenti di IPA legate al riscaldamento domestico. Si osserva inoltre che le concentrazioni risultano maggiori nella fase gas rispetto alla fase aerosol, come già osservato in letteratura (Gambaro *et al.*, 2004).
Nelle analisi dei dati relativi agli IPA vengono considerati separatamente le concentrazioni di BaP nella fase aerosol (soggetto al valore obiettivo legislativo di 1 ng m^{-3}) e il Fluorantene (fase aerosol), ritenuto significativo per le emissioni diesel (Masclet *et al.*, 1986). Inoltre Khalili *et al.* (1995) hanhno identificato come IPA diesel la somma delle concentrazioni di Naftalene, Acenaftene, Acenaftilene, Fluorene, Fenantrene e BaP. Le figure 22 e 23 mostrano le concentrazioni di BaP, Fluorantene e IPA diesel ottenute nei diversi anni di monitoraggio a Punta Sabbioni e a Malamocco.
Come esempio di elaborazione dei dati si riportano i risultati del monitoraggio relativo agli anni 2013-2014 (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2014-2015). La Tabella 3 riporta il confronto fra le concentrazioni di BaP con i rispettivi indici di variabilità stagionale ottenuti dalle misure effettuate da ARPA Veneto e pubblicate nelle Relazioni Regionali della Qualità dell'Aria, in analoghi periodi dell'anno.
A titolo di esempio nel corso del 2013 presso la stazione di Bissuola, stazione di fondo urbano, è stato osservato un valore medio della concentrazione di B(a)P pari a circa 1.3 ng m^{-3} (Relazione Regionale della Qualità dell'Aria 2013, ARPA Veneto), che risul-

Tabella 2. Concentrazioni (ng m^{-3}) medie, minime e massime di IPA sia nella fase gassosa che aerosol per 10 anni di misura.

Sito		IPA Particolato	IPA Gas	IPA Totali (particolato+gas)
Punta Sabbioni	**Media**	9.0	18	27
	Min	0.0	0.6	0.6
	Max	55	120	167
Malamocco	**Media**	2.0	5.2	7.2
	Min	0.0	0.0	0.5
	Max	18	73	91

20. Concentrazione di IPA nella fase aerosol e gas a Punta Sabbioni per l'anno 2012.

21. Concentrazione di IPA nella fase aerosol e gas a Malamocco per l'anno 2012.

22. Andamento delle concentrazioni di B(a)P, Fluorantene e IPA Diesel negli anni di monitoraggio (Punta Sabbioni), dal 2005 al 2015.

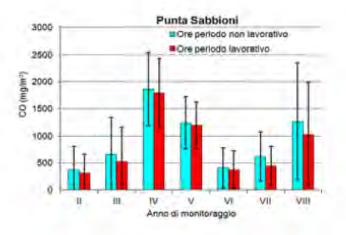
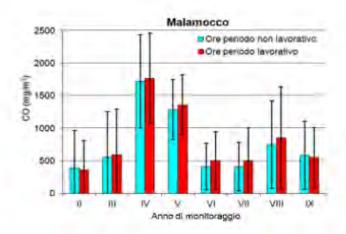
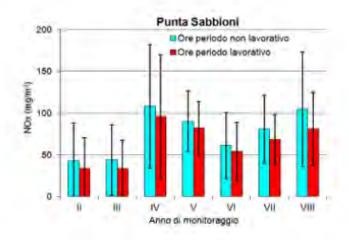
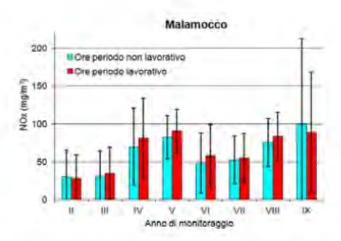
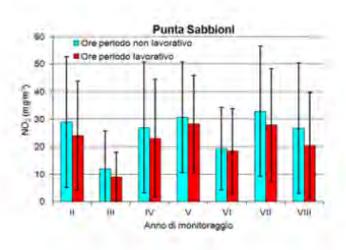
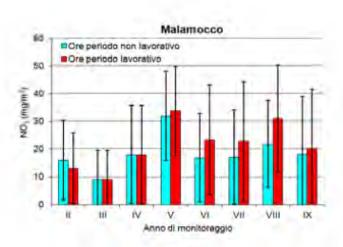
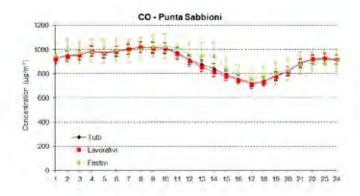
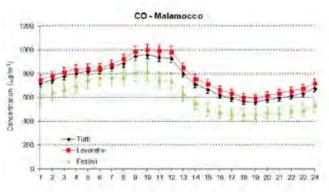
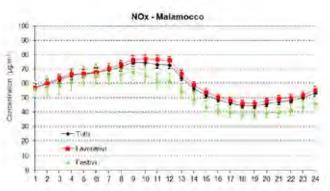
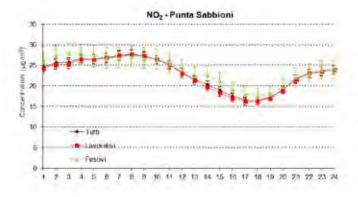
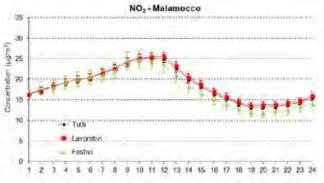
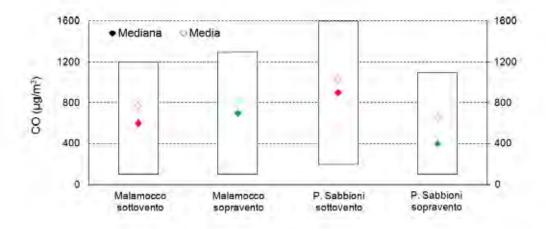
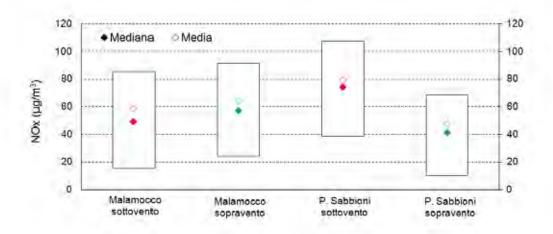
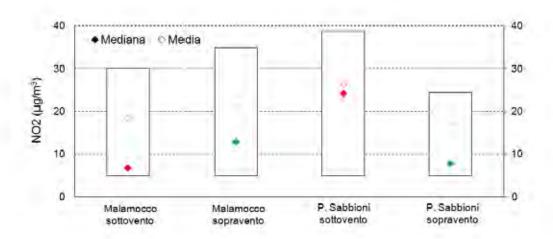
ta inferiore a quello ottenuto durante il monitoraggio.
Dalla tabella si osserva che le concentrazioni medie di BaP, ottenute in tutte le campagne effettuate a Punta Sabbioni ed a Malamocco, sono inferiori al limite legislativo di 1 ng m^{-3} ed al valore indicativo della variabilità stagionale.

23. Andamento delle concentrazioni di B(a)P, Fluorantene e IPA Diesel negli anni di monitoraggio (Malamocco), dal 2005 al 2015.

Tabella 3. Concentrazioni medie di BaP a Punta Sabbioni e Malamocco e soglie. L'indice stagionale è ottenuto dalla media annuale incrementata di una deviazione standard per tenere conto della variabilità annuale.

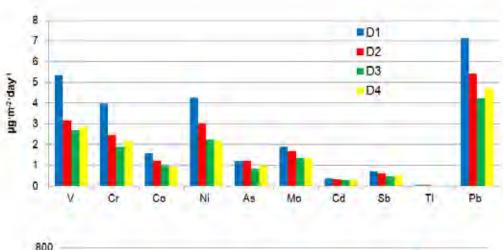
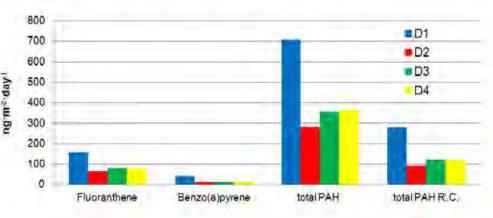
Sito		Media Benzo(a)pirene (ng/m³)	Indice stagionale Benzo(a)pirene (ng/m³)
Malamocco	**1° Campagna: 01/10/13 – 16/10/13**		
	Media	0.07	0.8
	Dev. Stand.	0.03	/
	2° Campagna: 14/02/14-03/03/14		
	Media	0.42	2.1
	Dev. Stand.	0.40	/
	3° Campagna: 04/07/13-19/07/13		
	Media	0.01	0.1
	Dev. Stand.	0.01	/
Punta Sabbioni	**1° Campagna: 09/11/13-20/11/13**		
	Media	0.20	3.4
	Dev. Stand.	0.13	/
	2° Campagna: 14/02/14-03/03/14		
	Media	0.57	2.1
	Dev. Stand.	0.43	/

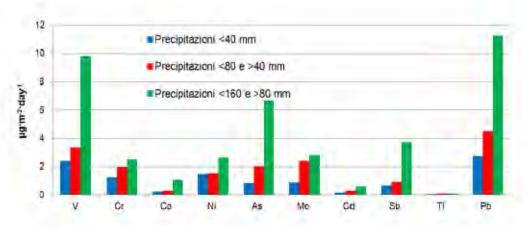
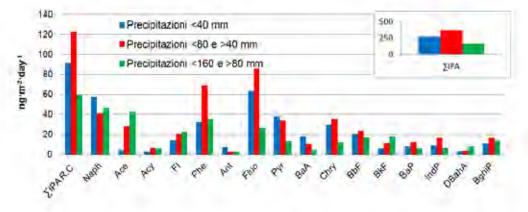
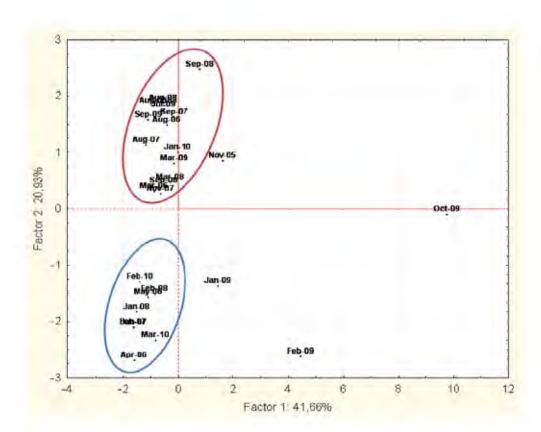
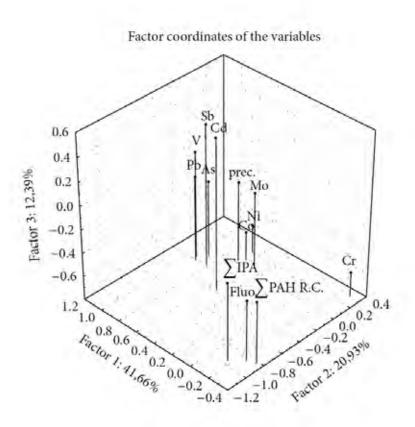
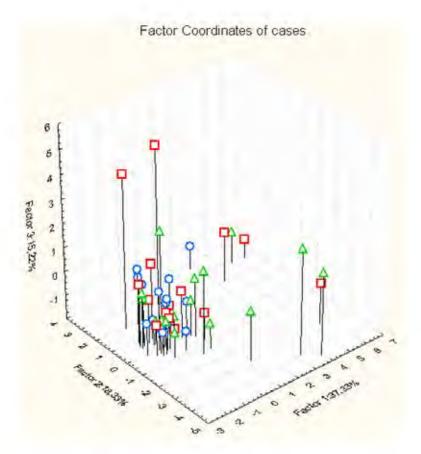
Composti gassosi

I composti gassosi (NOx, NO_2, e CO) sono stati monitorati con la frequenza oraria durante campagne di misura della durata di 8 giorni. I dati sono stati analizzati considerando le medie ottenute nei periodi lavorativi e confrontate con quelle dei periodi festivi o di chiusura dei cantieri. La figura 24 mostra i risultati ottenuti per i diversi anni di monitoraggio per i due siti indagati di Punta Sabbioni e Malamocco. Le analisi non evidenziano differenze statisticamente significative fra i due periodi considerati.
Il "giorno tipo" per ciascun composto gassoso viene riportato nella figura 25.
Il "giorno tipo" a Punta Sabbioni è diverso rispetto a quello di Malamocco: in quest'ultimo i picchi di concentrazione per tutti i gas sono visibili nella mattinata (dalle 9 alle 12) mentre a Punta Sabbioni è visibile l'effetto del regime di brezza che porta a un decremento delle concentrazioni dei gas in quelle ore. In entrambi i siti i "giorni tipo" non sono diversi fra periodi lavorativi e non, fornendo un ulteriore indizio di assenza di contributi specifici e diretti provenienti dalle attività di cantiere. Le concentrazioni dei gas tendono a crescere nelle ore notturne in entrambi i siti mostrando una correlazione con l'andamento dell'altezza dello strato limite atmosferico.
Per indagare più approfonditamente un eventuale contributo dei cantieri del MOSE, le concentrazioni dei gas misurate nelle sole ore lavorative (8-20) sono state raggruppate per settore di provenienza del vento. L'analisi è stata effettuata solo per le ore lavorative

24. Concentrazioni medie di CO, NOx e NO_2 ottenute per i periodi lavorativi e non lavorativi a Punta Sabbioni e Malamocco. Le barre di errore rappresentano la deviazione standard, dal 2006 al 2015.

25. "Giorno tipo" festivo e lavorativo per i diversi composti gassosi monitorati. La barra degli errori indica la deviazione standard delle misure.

26. Concentrazioni medie e mediana di CO, NOx e NO_2 calcolate separatamente per settori di sottovento e sopravento rispetto alla posizione dei cantieri a Malamocco e Punta Sabbioni. Il box rappresenta l'intervallo interquartile (fra 25% e 75%). Sono considerate solo le ore lavorative.

(8-20). I risultati sono riportati in figura 26 e mostrano che a Malamocco le differenze fra i diversi settori del vento non sono apprezzabili (considerando l'intervallo interquartile fra 25% e 75%).
A Punta Sabbioni le differenze sono maggiori, anche se dai grafici si osserva che i due box si sovrappongono; non è pertanto da escludere che vi siano stati dei contributi provenienti dalle attività di cantiere, anche se in questo sito la direzione dei cantieri è in linea con quella dell'area industriale di Porto Marghera.

Deposizioni atmosferiche

Le figure 27 e 28 riportano le concentrazioni medie delle deposizioni raccolte presso Punta Sabbioni nel periodo dal gennaio 2005 a maggio 2006. I valori di deposizione, sia per gli inquinanti inorganici che per gli organici, risultano più elevati per il deposimetro posizionato all'interno del cantiere (D1). Le differenze con gli altri deposimetri in posizioni diverse esterne al cantiere (D2, D3, D4) sono statisticamente significative.
I valori medi delle deposizioni atmosferiche raccolte all'esterno del sito di costruzione del MOSE risultano confrontabili senza evidenziare una anticorrelazione con l'aumentare della distanza dal cantiere. Da ciò si deduce che l'impatto dovuto alle attività di cantiere risulta confinato in una zona strettamente all'interno dell'area interessata dalle lavorazioni stesse.
Poiché le deposizioni atmosferiche sono influenzate dalla precipitazione (intensità, tipologia e durata) i flussi di deposizione atmosferica nel deposimetro D4 (considerato come fondo) sono stati confrontati con tre diversi livelli di precipitazione: meno di 40 mm di acqua, fra 40 mm e 80 mm e maggiori di 80 mm.
Come si osserva dalle figure 29 e 30 si hanno maggiori flussi di deposizione in condizioni di elevate regime di precipitazione per i microinquinanti inorganici.

27. Deposizioni atmosferiche medie per i microinquinanti inorganici per i deposimetri D1, D2, D3 e D4 dal gennaio 2005 al maggio 2006.

28. Deposizioni atmosferiche medie per i microinquinanti organici per i deposimetri D1, D2, D3 e D4 dal gennaio 2005 al maggio 2006.

Per i microinquinanti organici si osservano in generale maggiori flussi di deposizione in condizione di precipitazione di media intensità e quindi in generale la correlazione fra flussi di deposizione e precipitazione risulta inferiore rispetto ai microinquinanti inorganici. Occorre considerare anche che gli IPA presentano un andamento stagionale e che i periodi di minore concentrazione (estivo e primaverile) sono anche periodi di minore precipitazione.
Per le deposizioni ottenute in D4 (in quanto si tratta del deposimetro per il quale è disponibile un numero sufficiente di dati) si è svolta un'analisi statistica PCA (analisi delle componenti principali), considerando come variabili le precipitazioni, i flussi di deposizione dei composti inorganici (As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Sb, V) e organici: Fluorantene, ΣPAH (IPA totali) e ΣPAH R.C (IPA a rischio cancerogeno). Sono stati omessi i composti le cui concentrazioni sono risultate prossime ai rispettivi limiti di rilevazione. Questa analisi statistica permette di evidenziare eventuali relazioni esistenti tra le variabili e tra i campioni. Le figure 31 e 32 riportano i risultati ottenuti.
Nella figura 31 (score plot della prima componente rispetto alla seconda) vengono evidenziati due gruppi distinti di campioni: l'uno, cerchiato in rosso, che comprende tutti i flussi ottenuti in estate ed autunno e l'altro, cerchiato in blu, i flussi ottenuti nel periodo invernale. Questi due gruppi si distinguono in base all'importanza di alcune variabili che hanno valori diversi per i due gruppi.
L'esame del loading plot (figura 32) permette poi di stabilire che la differenza fra campioni estate-autunno ed inverno è dovuta principalmente a differenze nei flussi dei composti organici. Questa distinzione è in accordo con quanto rilevato in precedenza: i composti organici presentano un andamento stagionale indipendente dalla precipitazione che è più correlata con i flussi dei composti inorganici. Infatti nella figura 33 i campioni del periodo gennaio e ottobre 2009 (Jan-09 e Oct-09) sono separati dagli altri e questo è dovuto principalmente alle precipitazioni correlate con i flussi di As, Cd, Pb, Sb e V.

29. Flussi medi di deposizione atmosferica di microinquinanti inorganici nel deposimetro D4, in funzione della precipitazione.

30. Flussi medi di deposizione atmosferica di microinquinanti organici nel deposimetro D4, in funzione della precipitazione. Le deposizioni totali di IPA sono riportate separatamente per la diversa scala.

31. Score plot delle due componenti principali ottenute con l'analisi PCA nei flussi di deposizione ottenuti con il deposimetro D4 (Morabito *et al.*, 2014).

32. Loading plot tridimensionale delle tre prime componenti ottenute con l'analisi PCA (Morabito *et al.*, 2014).

33. Score plot tridimensionale delle prime tre componenti principali ottenute tramite PCA dei flussi di deposizione campionati in D4 (cerchi blu) D5 (quadrati rossi) e D6 (triangoli verdi) da settembre 2006 a marzo 2009 (Morabito *et al.*, 2014).

Per valutare la distribuzione spaziale delle deposizioni atmosferiche sono stati analizzati, tramite la PCA, i flussi di deposizione ottenuti nei periodi di monitoraggio, cioè fra settembre 2006 e marzo 2009, simultaneamente nelle tre postazioni in prossimità dei cantieri, uno per bocca di porto.
La Tabella 4 riporta i fattori delle variabili, basati sulla correlazione, delle prime tre componenti principali e in figura 33 lo score plot 3D delle prime tre componenti. Gli asterischi (Tabella 4) indicano come sono associate fra di loro le variabili. Ovvero nella prima componente principale incidono maggiormente V, Ni, As, Mo, Cd, Sb, Pb e precipitazione; nella seconda Cr e Co, e nella terza IPA e IPARC.
I campioni dei flussi a Punta Sabbioni (circoli blu) sono tutti raggruppati. Per gli altri due siti (quadrati rossi a Malamocco e triangoli verdi a Chioggia) ci sono molti campioni separati dagli altri a causa del Fattore 1 (in particolare V, Ni, As, e Cd) e Fattore 3 (composti organici).

Variabile	Fattore 1	Fattore 2	Fattore 3
V	0,951 ★	0,021	0,009
Cr	0,528	-0,685 ★	0,249
Co	0,416	-0,799 ★	0,29
Ni	0,847 ★	-0,357	0,112
As	0,741 ★	0,341	-0,157
Mo	0,619 ★	0,028	-0,218
Cd	0,694 ★	0,584	-0,166
Sb	0,547 ★	0,4	-0,14
Pb	0,583 ★	0,214	0,066
ΣPAH	0,11	0,444	0,84 ★
ΣPAH R.C.	-0,023	0,286	0,915 ★
prec	0,584 ★	-0,146	-0,039

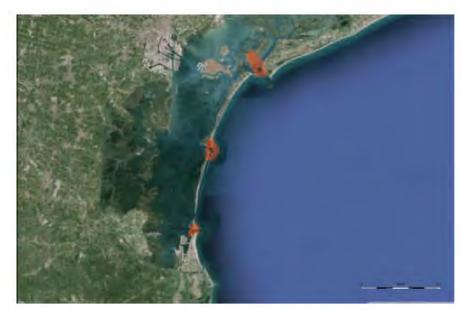
Tabella 4. Coordinate dei fattori delle variabili delle prime tre componenti dei flussi in D4, D5 e D6 nel periodo settembre 2006-marzo 2009.

34. Flussi di deposizione medi per i deposimetri D4, D5, D6 da settembre 2006 a marzo 2009. Il Fe è espresso come mg m^{-3} d^{-1}. Le concentrazioni di Zinco sono riportate separatamente.

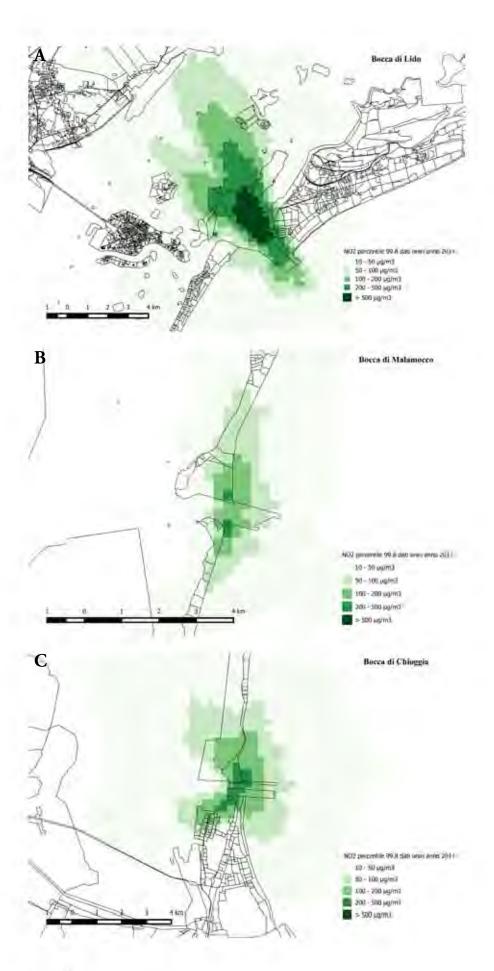
La figura 34 riporta la distribuzione spaziale delle deposizioni (D4 collocato presso Punta Sabbioni, D5 Malamocco e D6 Chioggia).
La analisi della distribuzione spaziale dei flussi di deposizione (figure 33 e 34) mette in risalto che nell'area vicino a Lido (Laguna Nord) i flussi sono inferiori rispetto alle altre aree lagunari e sono a carattere omogeneo (i cerchi di colore blu sono tutti raggruppati); negli altri siti, posizionati vicino a Malamocco e Chioggia, invece, i flussi di deposizione risultano più variabili (distribuzione dei rispettivi simboli più sparpagliata). È probabile che vicino a Chioggia si osservino interferenze dovute ad altre sorgenti, quali la vicina città di Chioggia e l'area del Po. Nel sito di Malamocco si sono osservati maggiori flussi di deposizione di microinquinanti organici, probabilmente dovuti ai combustibili dei numerosi mezzi marittimi che circolano in quell'area. Infine per tutti gli inquinanti monitorati non si osservano andamenti, crescenti o decrescenti, durante il periodo di monitoraggio.

Elaborazioni modellistiche

I risultati dei calcoli modellistici sono costituiti da valori orari di concentrazione di PM_{10}, NOx e NO_2 nelle aree di bocche di porto. Essi possono essere presentati in termini di mappe spaziali dei valori di lungo termine (media annuale, n-simo massimo della serie annuale), di medio termine (medie stagionali), di breve termine (medie giornaliere o valori orari) delle concentrazioni dei diversi inquinanti trattati. Inoltre possono essere analizzate le serie temporali dei valori orari o giornalieri, secondo l'inquinante, in punti del dominio che corrispondono a siti sensibili o coincidenti con le stazioni di misura.
L'andamento delle ricadute degli inquinanti in funzione della variazione delle condizioni meteorologiche indica come le concentrazioni maggiori siano associate a condizioni meteorologiche stabili (l'atmosfera può essere classificata come stabile quando i moti verticali sono rallentati e l'atmosfera è fortemente stratificata) con vento debole. Si tratta in genere di condizioni notturne, ma la presenza del mare, con inerzia termica tale da creare condizioni molto più stabili di quelle sulla terraferma, induce nel modello meteorologico CALMET (preprocessore del modello di dispersione CALPUFF) l'instaurarsi, in alcuni casi, di condizioni molto stabili anche durante il giorno. È proprio in queste condizioni che il modello simula le ricadute maggiori, con particolare riferimento ai casi in cui si verificano contemporaneamente condizioni di calma di vento.
In tutte le annualità in cui si è applicata la modellistica, cioé dal 2011 al 2014, per tutte e tre le bocche di porto le concentrazioni medie annue stimate sia per il PM_{10} che per l'NO_2 scendono rapidamente al di sotto di valori inferiori a 5 µg m^{-3} non appena ci si allontani dalle aree di cantiere, e risultano inferiori a 1 µg m^{-3} entro qualche centinaio di metri (3 o 4 chilometri nei casi di maggiore ricaduta). Sommando i valori stimati dal modello, che costituiscono il contributo delle attività di cantiere, al livello di concentrazione di fondo, per il quale si è preso il valore, piuttosto cautelativo, misurato dalla sta-

zione ARPAV di Sacca Fisola, non si segnala alcun rischio di superamento del limite di 40 µg m^{-3} (valore limite fissato dal D.Lgs. 155/2010 per la protezione della popolazione sia per il PM_{10} che per l'NO_2), eccetto che per le zone di lavorazione interne ai cantieri. Le figure 35-37 riportano un esempio di mappe di concentrazione al suolo rispettivamente per PM_{10}, NOx e l'NO_2, e il per l'anno 2014 ottenute alle tre bocche di porto. Le aree colorate in rosso rappresentano, per le mappe di NO_2 e PM_{10}, livelli di concentrazione compresi fra i valori di fondo e 1 µg m^{-3}. Come valore di fondo per il PM_{10} è stata considerata la media annuale misurata dalla centralina ARPAV di Sacca Fisola che per il 2014 risulta pari a 28 µg m^{-3}. Per quanto riguarda l'NO_2 come valore di fondo, ottenuta sempre dalla centralina di Sacca Fisola, si è considerata per il 2014 una concentrazione di 29 µg m^{-3}. Per la figura 37, relativa alla mappa della concentrazione di NOx, invece, il colore rosso è associato a livelli di concentrazione compresi fra 1 µg m^{-3} e il valore limite per la protezione della vegetazione (30 µg m^{-3}).
Per tutte e tre le mappe le zone a colore più scuro rappresentano livelli di concentrazione superiori ai rispettivi valori limite.
Per quanto riguarda il PM_{10} la figura 35 indica che solo in corrispondenza di un'attività cantieristica più intensa, ma limitata nel tempo, l'estensione dell'area di impatto potenziale, cioè dell'area in cui il modello stima un incremento della media annuale rispetto al valori di fondo superiore ad 1 µg m^{-3}, interesserebbe alcuni siti residenziali. In particolare alla bocca di porto di Lido le aree sono sia direttamente a ridosso del cantiere nel comune di Cavallino-Treporti sia sull'isola di Sant'Erasmo, mentre alla bocca di porto di Malamocco viene interessato, marginalmente, l'abitato di San Pietro in Volta.
Anche per gli NOx, il contributo delle attività cantieristiche stimato dal modello non comporta alcun rischio di superamento del limite di 30 µg m^{-3} per la protezione della vegetazione. Manca in questo caso però un sito di misura significativo che possa essere utilizzato come valore di fondo con il quale verificare se il contributo del cantiere più il fondo porti a situazioni critiche. Ad esempio, stazione di Sacca Fisola riporta un valore medio annuo per il 2014 di 52 µg m^{-3} superiore al valore limite per la protezione della vegetazione di 30 µg m^{-3}. Tale stazione tuttavia non rispetta le caratteristiche previste dalla normativa per le stazioni di fondo e quindi tale valore è puramente indicativo di un superamento generalizzato di questo valore limite per l'area lagunare indipendentemente dalla presenza dei cantieri.
Per quanto riguarda l'NO_2 occorre distinguere fra valore limite annuale e valore limite orario. Relativamente al valore limite annuale, per le bocce di porto di Malamocco e Chioggia si sottolinea che le concentrazioni medie annue stimate scendono rapidamente al di sotto di valori inferiori a 1 µg m^{-3} non appena ci si allontani dai confini esterni delle aree di cantiere.
A Lido si riscontra una zona di impatto dei cantieri tra 5 e 10 µg m^{-3} per una porzione dell'Isola di Sant'Erasmo. Pur considerando un livello di concentrazione di background piuttosto cautelativo come quello misurato dalla stazione ARPAV di Sacca Fisola, non si segnala alcun rischio di superamento del limite di 40 µg m^{-3} per la protezione della popolazione.
La figura 38 riporta, dall'alto verso il basso, rispettivamente la concentrazione di NO_2 al 99.8° percentile alla bocca di Lido, Malamocco e Chioggia.
In riferimento al limite orario dell'NO_2 per la protezione della salute, che richiede che non si verifichino in un anno più di 18 superamenti del valore di 200 µg m^{-3}, tenendo conto che al contributo del modello si sommano i contributi relativi a tutte le altre sorgenti emissive presenti nel dominio. I risultati dello studio modellistico indicano che il rischio di superamento di tale limite di breve durata è generalmente confinato alle aree

35. Concentrazione media annuale di PM_{10}-anno 2014. Immagine aerea da Google Earth.

36. Concentrazione media annuale di NOx-anno 2014. Immagine aerea da Google Earth.

37. Concentrazione media annuale di NO_2-anno 2014. Immagine aerea da Google Earth.

38. Percentile 99.8° delle concentrazioni di NO_2 (µg m^{-3}), bocca di Lido (A), bocca di Malamocco (B) e bocca di Chioggia (C).

a ridosso dei cantieri, con le eccezioni di alcuni siti residenziali nella parte sud-ovest dell'isola di Sant'Erasmo, alla bocca di porto di Lido, e una piccola parte dell'abitato di San Pietro in Volta alla bocca di Malamocco.

Considerazioni conclusive

Le attività svolte nell'ambito del Piano di monitoraggio dei cantieri del MOSE possono essere raggruppate in base alla scala temporale delle singole misure effettuate.
Alla scala temporale più ampia si situano le deposizioni atmosferiche, con durata di campionamento pari a circa un mese. I flussi di deposizione, sia a secco che a umido, rappresentavano, all'epoca della stesura del Piano di monitoraggio, uno dei parametri più tradizionali e utilizzati nella valutazione dell'impatto ambientale di cantieri o insediamenti industriali.
Per inciso, la valutazione dei flussi di deposizione era l'unica attività prevista all'interno dell'iniziale documento relativo allo Studio di Impatto Ambientale (SIA) del Progetto di Massima degli Interventi alle Bocche Lagunari per la Regolazione dei Flussi di Marea.
La raccolta delle deposizioni atmosferiche può, tuttavia, fornire soltanto alcuni elementi qualitativi e parziali sull'eventuale impatto atmosferico di una sorgente. Ciò principalmente perché un periodo di campionamento così ampio non permette, a meno di rilevanti ricadute atmosferiche, di apprezzare lo specifico contributo della sorgente rispetto al fondo, e in secondo luogo, per la relazione fra deposizioni atmosferiche e precipitazioni (quantità, caratteristiche ed intensità), come evidenziato anche dai risultati ottenuti durante il monitoraggio.
Posizionando i deposimetri a distanze diverse dal cantiere, uno nell'area interna del cantiere stesso, è stato possibile escludere ricadute di inquinanti, dovuti ai cantieri del MOSE, così significative da superare l'ampia variabilità dei dati ottenuti con questa tecnica. I risultati, quindi, hanno, in qualche modo, fornito un limite superiore ad eventuali impatti ambientali.
Considerando una scala temporale inferiore si evidenziano le misure di durata giornaliera: concentrazione di IPA, composizione elementale del PM_{10} e quantità di PM_{10}. Questa scala temporale viene normalmente utilizzata per misure della qualità dell'aria, come previsto dalla legislazione vigente identificando valori obiettivo per la media giornaliera di PM_{10}, per il contenuto di Ni, As, Pb e Cd nel PM_{10} e di BaP come media annuale ottenuta da misure giornaliere. Si tratta di una scala temporale che, correlata ai parametri meteorologici (principalmente direzione ed intensità del vento), permette, soprattutto in periodi di vento con direzioni costanti e ben definite, di potere identificare eventuali contributi provenienti dalla sorgente indagata. Inoltre, potendo confrontare giorni di cantiere aperto con giorni di cantiere chiuso è stato possibile mettere ulteriormente in evidenza eventuali scostamenti nei valori di concentrazione degli inquinanti misurati.
Come si può osservare dai risultati ottenuti, riportati nelle specifiche sezioni, sia per la composizione elementale del PM_{10} che per la concentrazione di IPA i risultati ottenuti non hanno messo in evidenza contributi specifici dovuti alle attività del MOSE. Inoltre, a questa scala temporale è stato possibile correlare le misure giornaliere di PM_{10} in laguna con quelle effettuate da ARPA Veneto ed Emilia Romagna ed evidenziare periodi temporali nei quali la dispersione atmosferica delle polveri nell'intero bacino padano era critica.
Naturalmente anche in questo caso, la diversa base statistica di confronto fra giorni lavorativi e non (più numerosi i primi rispetto ai secondi), la presenza di periodi caratterizzati da vento variabile ed eventuali rilasci di intensità tale da non essere evidenziati alle 24 ore, possono avere in qualche modo minimizzato un impatto ambientale. Per-

tanto sono state effettuate misure anche alla scala temporale oraria (composti gassosi e PM_{10}). In questo caso le correlazioni fra concentrazione misurata e direzione del vento vengono ad essere più dettagliate permettendo di discriminare fra contributi dovuti alla sorgente monitorata da quelli provenienti da altre sorgenti (ad esempio zona industriale di Porto Marghera, Pianura Padana). Questa analisi più dettagliata ha permesso inoltre di evidenziare il "giorno tipo" per Malamocco e Punta Sabbioni con differenze dovute ai diversi regimi di brezza. Dai risultati ottenuti non si sono osservati contributi provenienti dai cantieri.
Sono state svolte anche misure alla scala temporale di alcuni minuti per il PM_{10} sia con centralina fissa che mobile, in modo da evidenziare andamenti anomali tali da essere compatibili con casi di trasporto di polveri, anche di breve durata, dalle aree di cantiere (sollevamento eolico di terriccio, movimentazione di mezzi pesanti). Anche in questo caso non si sono verificati eventi significativi di trasporto di polveri. Inoltre questa scala temporale così breve ha permesso di verificare la corretta applicazione delle procedure di mitigazione adottate, principalmente la bagnatura dei piazzali e dei cumuli di terra.
Queste misure temporali ad alta frequenza sono state impiegate per stimare i contributi alle abitazioni circostanti delle emissioni di veicoli pesanti, dovuti ai numerosi trasporti di materiale sulla viabilità ordinaria. Tali contributi sono risultati di scarsa entità.
Infine, pur con tutta la complessità evidenziata, le misure puntuali possono essere scarsamente rappresentative o non in grado di offrire una visione della distribuzione spaziale degli inquinanti. Infatti frequentemente, per motivi logistici, i sistemi di prelievo e di campionamento vengono posizionati non necessariamente nei punti di massima ricaduta che comunque dipendono dalle condizioni atmosferiche e sono quindi variabili. Risulta pertanto fondamentale potere disporre di simulazioni numeriche che forniscono mappe di ricaduta al suolo degli inquinanti in diverse condizioni atmosferiche per potere identificare eventuali criticità ed avvalorare le misure sperimentali svolte.
Da questo punto di vista le simulazioni numeriche effettuate, oltre che confermare quanto ottenuto con le misure sperimentali puntuali, hanno anche permesso di evidenziare come il contributo dovuto alle attività cantieristiche è rimasto limitato, prevalentemente, alle aree di cantiere stesse.

Ringraziamenti

Il monitoraggio, relativo alla matrice aria, delle eventuali emissioni provenienti dai cantieri installati presso le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, ha visto la collaborazione di diverse istituzioni ed enti di ricerca: CORILA, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC-CNR) del CNR di Bologna e Lecce, Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali (IDPA-CNR) del CNR di Venezia e l'Università Ca' Foscari (Ve).
Numerose persone hanno preso parte alle varie attività svolte nell'ambito del monitoraggio (dai campionamenti, alle analisi di laboratorio ed elaborazione dati). In particolare quanti hanno più stabilmente collaborato (oltre ai già citati autori) sono:
Dott.ssa Elena Barbaro (IDPA-CNR, Venezia)
Dott.ssa Elena Gregoris (IDPA-CNR, Venezia)
Dott.Marco Vecchiato (DAIS, Ca' Foscari, Venezia)
Dott.ssa Roberta Zangrando (IDPA-CNR, Venezia)

Bibliografia

Air Quality in Europe 2013 Report. EAA Report N 9/2013, ISSN 1725-9177.

APHEKOM (2011) Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe. Summary report of the Aphekom project 2008-2011.

ARPAV (2014) Relazione Regionale Qualità dell'Aria: Anno di riferimento 2013.

Buccolieri A., Buccolieri G., Cardellicchio N., Dell'Atti A., Elena Tiziana Florio E. T. (2005) PM_{10} and heavy metals in particulate matter of the province of Lecce (Apulia, southern Italy). Annali di Chimica, 95(1-2), 15-25.

Capodaglio G., Tosxcano G., Cescon P., Scarponi G. (1994) Copper complexation in the surface sea water of Terra Nova Bay (Antarctica). International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 55(1-4), 129-148.

Cesari D., Genga A., Ielpo P., Siciliano M., Mascolo G., Grasso F. M., Contini D. (2014) Source apportionment of $PM_{2.5}$ in the harbour-industrial area of Brindisi (Italy): Identification and estimation of the contribution of in-port ship emissions. Science of Total Environment, 497-498, 392-400.

Contini D., Gambaro A., Belosi F., De Pieri S., Cairns W., Donateo A., Zanotto E., Citron M. (2011) The direct influence of ship traffic on atmospheric $PM_{2.5}$, PM_{10} and PAH in Venice. Journal of Environmental Management, 92, 9, 2119-29.

Contini D., Belosi F., Gambaro A., Cesari D., Stortini M. A., Bove M. C. (2012) Comparison of PM_{10} concentrations and metal content in three different sites of the Venice Lagoon: An analysis of possible aerosol sources. Journal of Environmental Sciences, 24(11), 1954-1965.

Decreto Ministeriale 25/11/1994.

Decreto Ministeriale n. 60, 02/04/2002.

Decreto Legislativo n. 152, 03/08/2007.

EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (2009) International navigation, national navigation, national fishing and military (shipping)-sec.1.A.3.d Navigation (update March 2011).

EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (2009) Non-road mobile sources and machinery (land-based emissions)-sec. 1.A.4 Other Mobile (update June2010).

European Communities (2001) Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds. Position Paper. Prepared by the Working Group On As, Cd and Ni compounds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Gaga E. O., Ari A., Döğeroğlu T., Çakırca E. E., Machin N. (2012) Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in an industrialized city, Kocaeli, Turkey: study of seasonal variations, influence of meteorological parameters and health risk estimation. Journal of environmental monitoring, 14: 2219-29.

Gambaro A., Manodori L., Moret I., Capodaglio G., Cescon P. (2004) Determination of polychlorobiphenyls and polycyclic in the atmospheric aerosol of the Venice Lagoon, Analytical and Bioanalytical chemistry, 378: 1806-14.

Gambaro A., Radaelli M., Piazza R., Stortini M. A., Contini D., Belosi F., Zangrando R., Cescon P. (2009) Organic micropollutants in wet and dry depositions in the Venice Lagoon. Chemosphere, 76, 1017-1022.

Gregoris E., Argiriadis E., Vecchiato M., Zambon S., De Pieri S., Donateo A., Contini

D., Piazza R., Barbante C., Gambaro A. (2014) Gas-particle distributions, sources and health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and polychlorinated naphthalenes (PCNs) in Venice aerosols, Science of The Total Environment, 476-7, 393-405.

IARC: International Agency for Research on Cancer (2009) IARC Monogr, on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Complete list of agents evaluated and their classification.

Khalili N. R., Scheff P. A., Holsen T. M. (1995) PAH Source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. Atmospheric Environment 29, 533-542.

Lu S. L., Longyi S., Minghong W., Zheng J., Xiahoui C. (2007) Chemical elements and their source apportionment of PM_{10} in Beijing urban atmosphere. Environmental Monitoring and Assessment, 133(1-3), 79-85.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia) (2009) Il monitoraggio SAMANET delle deposizioni atmosferiche nella Laguna di Venezia anno 2007.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2005-2013) Studi B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Aria. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Masiol M., Rampazzo G., Ceccato D., Squizzato S., Pavoni B. (2010) Characterization of PM_{10} sources in a coastal area nearVenice (Italy): An application of factor-cluster analysis. Chemosphere, 80(7), 771-778.

Masclet P., Mouvier G., Nikolaou K. (1986) Relative decay index and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons, Atmospheric Environment, 20 (3),439-446.

Pope C. A., Dockery D. W. (2006) Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. Journal of the Air & Waste Management Association, 56, 709-742.

Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (anni 2014-2015) Studi B.6.72 B/9-B/10. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Aria. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Querol X., Alastuei A., Ruiz C. R., Artinano B., Hansson H. C., Harrison R. M. (2004) Speciation and origin of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in selected European cities. Atmospheric Environment, 38, 6547-6555.

Rampazzo G., Masiol M., Visin F., Pavoni B. (2008) Gaseous and PM_{10}-bound pollutants monitored in three sites with differing environmental conditions in the Venice area (Italy). Water Air and Soil Pollution, 195(1-4), 161-176.

Rossini P., Guerzoni S., Molinaroli E., Rampazzo G., De Lazzari A. (2005a) Atmospheric bulk deposition to the lagoon of Venice part I. Fluxes of metals, nutrients and organic contaminations. Environmental International 31, 959-974.

Rossini P., Matteucci G., Guerzoni S. (2005b) Atmospheric fall-out of POPs (PCDD-Fs, PCBs, HCB, PAHs) around the industrial district of Porto Marghera, Italy. Science of the Total Environment, 349, 180-200.

Santi E., Belosi F., Santachiara G., Prodi F., Berico M. (2010) Real-time aerosol photometer and optical particle counter comparison, Il Nuovo Cimento, 125 B.

Scire J. S., Strimaitis D. G., Yamartino R. J. (1990) Model formulation and user's gui-

de for the CALMET meteorological model. Prepared for the California Air Resources Board by Sigma Research Corporation, Concord, MA.

Slezakova K., Pires J. C. M., Castro D., Alvim-Ferraz M. C. M., Delereu-Matos C., Morais S., Pereira M. C. (2013) PAH air pollution at a Portuguese urban area: carcinogenic risks and sources identification. Environmental Science and Pollution Research, 20, 3932-45.

Stortini A. M., Freda A., Cesari D., Cairns W., Contini D., Barbante C., Prodi F., Cescon P., Gambaro A. (2009) An evaluation of the $PM_{2.5}$ trace elemental composition in the Venice Lagoon area and an analysis of the possible sources. Atmospheric Environment, 43(40), 6296-6304.

Studio di Impatto Ambientale (SIA) del Progetto di Massima degli Interventi alle Bocche Lagunari per la Regolazione dei Flussi di Marea. (Sezione D, Quadro di Riferimento Ambientale, Vol. 2, 1997. N. Elaborato 95.T706-REL-T067.4 Consorzio Venezia Nuova).

Toscano G., Moret I., Gambaro A., Barbante C., Capodaglio G. (2011) Distribution and seasonal variability of trace elements in atmospheric particulate in the Venice Lagoon. Chemosphere, 85(9), 1518-1524.

Viana M., Amato F., Alastuey A., Monfort E. (2009) Chemical tracers of particulate emissions from commercial shipping. Environmental Science & Technology, 43, 7472-7477.

Watson J. G., Zhu T., Chow J. C., Engelbrecht J., Fujita E. M., Wilson W. E. (2002) Receptor modeling application framework for particle source apportionment. Chemosphere, 49(9), 1093-1136.

Wedepohl K. H. (1995) The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59, 1217-1232.

Summary

The construction activities of the mobile gates at the Venice Lagoon entrances might impact over several environmental matrixes; among them there are the atmospheric emissions due to off-road and maritime vehicles, heavy duty trucks, stones movement, ecc. Therefore the monitoring plan is made up of samplings of several pollutants.
PM_{10} was analyzed on an hourly frequency at Punta Sabbioni by means of a light-scattering type sampler, while PM_{10} filters for elemental analysis were collected at the Punta Sabbioni, Malamocco and Chioggia inlets using low volume sequential aerosol samplers (Skypost PM-TCR Tecora). PAHs have been monitored by means of a High Volume sampler (Tisch Environment) using a monitoring strategy based on two sampling campaigns, usually carried out each year at Malamocco (September and January/February), and at Punta Sabbioni (November and February).
Measurements of gaseous pollutant concentrations (CO, NO_2, NOx) were carried out on an hourly basis using tick film sensors (ETL2000, Unitech srl, Italy) at Punta Sabbioni and Malamocco, for 1 or 2 weeks each month. Furthermore, in order to put in evidence a possible contribution from the construction works of the MOSE, the data have been analysed separating the period of construction activity (between 8 am to 8 pm during working days) and in the period of inactivity (between 9 pm and 7 am during working days and all the day during holydays).
Atmospheric deposition fluxes of organic and inorganic compounds have been measured by means of bulk deposimeters positioned at the three lagoon entrances and in a site far distant from the courtyard (elementary school S. Pertini, Punta Sabbioni). The last one is considered not influenced from the construction activities and therefore it gives the deposition reference flux. Two yearly sampling campaigns (June-October and December-March), each made of three samples (one month length) have been performed.
The monitoring strategy is fulfilled by deploying numerical models (CALPUFF and CALMET) to compute the spatial distributions of the pollutants concentration levels according to different atmospheric dispersion conditions.
The data elaboration is based on the comparison of each pollutant averaged concentration with its specific thresholds (in some cases legal ones, in other cases obtained through statistical elaboration of data obtained in absence of working activities) and on the correlation with the meteorological parameters (a meteorological mast has been positioned at Punta Sabbioni, while at Malamocco the MAV meteorological stations is used).
The comparison of the real time monitored data with the meteorological conditions is very important in case of critical episodes, because it allows the discerning of them as if they are due to the MOSE work activities or as if they are a consequence of a regional bad air quality condition.
Results of PM_{10} hourly concentrations show no statistically differences between working and no-working days. Therefore emission from working activities were not so important to give rise higher dust level concentrations (from 2005 to April 2014). An interesting feature of the PM_{10} monitoring is the correlation on a regional scale of the concentration levels. Results show a good correlation between the PM_{10} concentration recorded at Punta Sabbioni up to Rovigo, while for Reggio Emilia station the correlation coefficient is lower. That means a coupling of the local meteorology between the Venice Lagoon and Veneto Region stronger respect to Emilia Romagna Region. Most of the recorded PM_{10} concentration daily averaged limit exceedings at Punta Sabbioni, took place also at other Veneto cities allowing to establish that was not the conseguence of the MOSE work activity but, rather, a general pollution event on a regional scale. The comparison of the average concentrations of the different metals in the PM_{10} between cases in which the measurement sites are downwind and upwind of the MOSE construction yards

have also been performed. However, the differences associated to the two wind direction sectors were not statistically significant so that a contribution of construction activities to metals concentrations was not evidenced.
As far as the PAH difference in contaminants concentrations between the two sites is not evident, even if it is possible to notice that the concentrations found near the Lido inlet are basically lower than at the Malamocco inlet, especially in the last two years of sampling.
The daily patterns of the gas concentrations at Punta Sabbioni are different with respect to those observed at Malamocco. At Malamocco, peaks in concentrations for all gas are visible in the morning between 8 am and 12 am. At both sites the trends observed in weekdays and holidays are similar. Concentrations during holidays are slightly lower with respect to weekdays at Malamocco site but are comparable for the two periods at Punta Sabbioni site. Average gaseous pollutant concentrations increase in nocturnal hours at both sites showing a correlation with the evolution of the atmospheric boundary-layer that could indicate a trapping of the pollutants in this mixed layer. An evidence of a direct effect of the MOSE construction activities in diurnal hours was not observed.
With respect to the atmospheric deposition, for all pollutants here reported, both inorganic and organic, we cannot observe any long-term trend and neither an increase nor a decrease over the years has been put in evidence in the dataset.
Results from experimental data obtained with field measurements are corroborated by concentration maps from dispersion model simulations, which show concentration levels comparable with the background outside the courtyards.

I coleotteri delle spiagge con dune alle bocche di porto della laguna di Venezia

Beetle fauna of the beach-dune systems at the lagoon of Venice inlets

Lorenzo Zanella, Marco Uliana, Francesco Barbieri e Francesco Scarton

Introduzione

Negli ultimi decenni anche gli insetti, precedentemente trascurati sotto questo punto di vista, sono stati utilizzati, con sempre maggiore importanza, come indicatori della qualità ambientale. Tra i diversi ordini sistematici che ne fanno parte, i Coleotteri rappresentano il gruppo più diversificato; le 360.000-400.000 specie descritte rappresentano all'incirca un quinto delle specie viventi conosciute, stimate in poco meno di 1.900.000 entità (Chapman, 2009). Tale biodiversità deriva da un impressionante processo di radiazione adattativa che ha portato i Coleotteri a colonizzare i più svariati habitat, evolvendo in forme di vita altamente specializzate e talora incapaci di svilupparsi in ambienti diversi da quello di elezione. Proprio questo profondo legame tra alcune specie altamente adattate e gli ecosistemi di appartenenza ha indotto molti ricercatori a proporre l'utilizzo di alcuni Coleotteri come bio-indicatori del grado di conservazione degli ecosistemi più delicati (Brandmayr *et al.*, 2005; Jaulin e Soldati, 2005; Rainio e Niemelä, 2003).
Tra gli ambienti minacciati di scomparsa in cui si possono individuare alcuni coleotteri altamente specializzati vi sono le dune sabbiose delle aree costiere. Gli arenili ancora dotati di sistemi di dune sono in forte declino lungo le coste italiane ed europee, a causa dell'intenso sfruttamento turistico delle spiagge e dell'antropizzazione delle aree litorali. Infatti, le profonde alterazioni ambientali connesse alle attività turistico-balneari sono incompatibili con la salvaguardia di questo delicato ecosistema, che nella stretta fascia di confine tra terra e mare ospita una successione di microhabitat unici e altamente selettivi.
La necessità di interventi a protezione di questi ambienti è stato riconosciuto dalla legislazione comunitaria con la Direttiva Habitat 92/43/CEE che ha individuato nell'allegato I diversi habitat di interesse comunitario connessi alle dune marine, tra i quali i seguenti particolarmente attinenti ai siti di monitoraggio qui considerati:

2110 - Dune mobili embrionali;
2120 - Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria* (dune bianche);
2130* - Dune costiere fisse a vegetazione erbacea (dune grigie), habitat prioritario.

La medesima Direttiva trova attuazione nell'istituzione della rete ecologica Natura 2000, che mira all'identificazione e conservazione di habitat e specie elencati rispettivamente negli allegati I e II. Le aree individuate comprendono Siti di Interesse Comunitario (SIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS), queste ultime già istituite a seguito della Direttiva Uccelli (79/409/CEE).
I sistemi dunali della costa veneziana sono inseriti nella rete Natura 2000 con i siti "IT3250003 - Penisola del Cavallino: Biotopi litoranei" e "IT3250023 Lido di Venezia: biotopi litoranei".

Nonostante le attività di protezione promosse dalle normative citate, un recente rapporto redatto da ISPRA sullo stato di conservazione di habitat e specie di interesse comunitario in Italia (Genovesi *et al.*, 2014) ha evidenziato che ben 5 dei 12 habitat facenti parte della macrocategoria "Dune marittime e interne" sono in uno stato di conservazione "cattivo" secondo i criteri di qualità adottati internazionalmente.
Un aspetto della normativa che meriterebbe di venire diversamente sviluppato riguarda la mancanza di una visione integrata degli habitat da proteggere. L'identificazione dell'habitat dunale sulle base delle formazioni vegetali caratteristiche, descritte nelle varie norme finalizzate all'interpretazione operativa della Direttiva Habitat, inevitabilmente focalizza l'azione di protezione sulle dune vere e proprie o addirittura parte di esse, trascurando l'arenile antistante. In particolare, viene trascurata l'importanza del detrito vegetale deposto sull'arenile dai moti di marea, che grande rilevanza assume per la conservazione di molte specie legate alla spiaggia. Questo rappresenta una distorsione pericolosa rispetto agli obiettivi di protezione che la norma si propone, poiché le dune costiere e l'arenile compreso tra le dune e il mare rappresentano due componenti indissociabili del medesimo ecosistema. In considerazione del fatto che il criterio guida per l'individuazione e caratterizzazione dell'ambiente da salvaguardare è in genere rappresentato dalla componente vegetazionale, può accadere che la spiaggia, essendo afitoica, non possa beneficiare di alcuna protezione, nonostante ospiti una biodiversità animale specializzata ed a rischio di scomparsa.
La realizzazione delle barriere mobili alle bocche di porto ha rappresentato l'occasione per avviare un articolato programma di monitoraggio multidisciplinare, atto a valutare lo stato di conservazione del sistema costiero con dune del litorale veneziano. In questo contesto operativo è stata anche effettuata una caratterizzazione della qualità ambientale mediante l'analisi dell'entomofauna, che come la vegetazione di questo ambiente si distribuisce secondo esigenze ecologiche molto restrittive e tali da determinarne una zonazione assai precisa ed articolata.

Generalità sui Coleotteri delle spiagge con sistemi di dune

La spiaggia e le dune marine rappresentano due compartimenti di un unico ecosistema dai tratti poco ospitali, difficile da colonizzare sia per specie animali che vegetali. Il substrato è costituito da sabbia, che risulta arida per la scarsità di sostanza organica e la caratteristica capacità drenante. Il sommovimento della sabbia per azione del vento, inoltre, rende estremamente instabile il profilo superficiale della spiaggia e produce un effetto abrasivo su tutto ciò che si trova al di sopra del piano di campagna. Oltre a questo, l'acqua di mare crea naturalmente un aerosol ad elevato tenore salino che investe l'ambiente più prossimo al bagnasciuga e si diffonde per azione del vento verso l'entroterra, subendo un significativo abbattimento per effetto delle dune. La presenza delle dune, infatti, consente l'attenuazione di alcuni fattori di stress ambientale, grazie alla formazione di zone riparate dal vento, alla stabilizzazione del profilo sabbioso dovuto all'insediamento di piante psammofile che, oltre a creare zone d'ombra, introducono materia organica da fotosintesi nell'ecosistema. Resta comunque evidente che tutto l'ambiente sabbioso risulta poco favorevole alla vita sotto il profilo microclimatico. Nel periodo estivo, in particolare, l'escursione termica giornaliera è molto elevata. Sulle dune di Alberoni, in luglio, la temperatura massima superficiale della sabbia si aggira intorno a 58 °C, con punte di 69 °C, per scendere a valori minimi di circa 15°C durante la notte (Giordani Soika, 1959).
Gli insetti e gli altri artropodi che popolano questi habitat hanno sviluppato adattamenti di tipo fisiologico, morfologico ed etologico. Ad esempio le cicindele, che tipicamente frequentano l'arenile in pieno sole, sono Carabidi predatori mobilissimi, dotati di zampe esili e molto allungate, che non solo permettono loro di spostarsi con grande velocità sul-

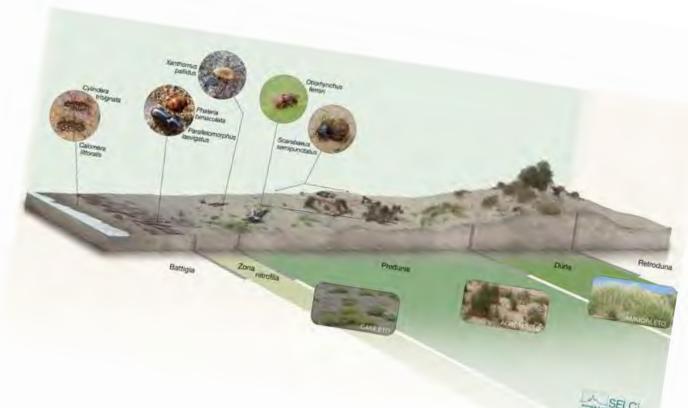
1. Mappa dell'area lagunare veneta e individuazione delle zone interessate dal piano di monitoraggio.
L'immagine aerea di Punta Sabbioni (A) evidenzia la ripartizione dell'area nei settori A e B. Le immagini relative ad Alberoni (B) e Ca' Roman (C) si focalizzano invece sui sottosettori individuati nei rispettivi settori A (vedi testo).

la sabbia ma tengono il corpo ben sollevato dalla sabbia rovente minimizzando la superficie di contatto. *Parallelomorphus laevigatus*, invece, presenta zampe anteriori adattate allo scavo nella sabbia e una forma del corpo che gli consente di introdursi nelle gallerie degli Anfipodi Talitridi di cui è predatore specializzato. Molte specie hanno ovviato alle principali ostilità climatiche assumendo un comportamento notturno e restando infossate durante le ore calde, oppure trovando rifugio sotto i depositi umidi di detriti vegetali. Questi ultimi, per lo più rappresentati da foglie di fanerogame e macroalghe depositate dalle correnti marine sopra la linea di battigia, costituiscono il principale apporto di carbonio organico alla spiaggia, altrimenti priva di produzione primaria, ed offrono una rete di microambienti a diversa temperatura e grado di umidità. Dal detrito organico origina la rete trofica dell'arenile, il cui primo livello è composto da organismi saprofiti e detritivori. Su di essi insiste un'articolata comunità di micropredatori che trasferisce l'energia chimica incamerata nella biomassa dei degradatori verso i livelli più elevati della catena alimentare. Molti di questi organismi, inclusi i Coleotteri, risultano estremamente specializzati e si rinvengono esclusivamente in questo peculiare ambiente.

Descrizione dei siti e metodologie d'indagine

Per monitorare la qualità ambientale del sistema costiero dunale del litorale veneziano sono state individuate aree di studio con estensione variabile tra 17 e 25 ettari nelle fasce costiere adiacenti ai cantieri per la realizzazione delle opere mobili alle bocche di porto della laguna di Venezia. Le località interessate, Ca' Roman (CR), Alberoni (AL) e Punta Sabbioni (PS), sono evidenziate nella planimetria di figura 1.
Ciascuna area è stata suddivisa in due settori, chiamati A e B, rispettivamente in posizione prossimale e distale rispetto ai cantieri. I rilievi sono stati effettuati distintamente nei due settori, al fine di poter valutare eventuali differenze nei popolamenti entomologici riconducibili alla diversa distanza dai cantieri stessi.
A partire dal 2011 il piano di monitoraggio è stato modificato, su richiesta di ISPRA, nei siti CR e AL, limitando la raccolta dei dati al settore A suddiviso in tre sottosettori A1, A2 e A3. Ogni sottosettore, caratterizzato da una larghezza di 50 m, era posizionato rispettivamente in adiacenza al cantiere (A1), in posizione centrale (A2, a circa 200 m) ed in posizione distale rispetto al cantiere (A3, a circa 350 m). La variazione del piano di monitoraggio ha consentito di indagare a scala più dettagliata le eventuali differenze di presenza e abbondanza delle specie indicatrici in rapporto alla vicinanza dei cantieri. Nel sito PS, invece, il cantiere occupava una posizione spostata verso la laguna e non presentava confini a diretto contatto con l'area di interesse, pertanto il disegno sperimentale è

Tabella 1. Tabella descrittiva delle fasce ecologiche individuate negli ambienti studiati e delle specie indicatrici ad essere correlate inserite nel piano di monitoraggio.

<table>
<tr><th>Fascia ecologica</th><th>Descrizione</th><th>Vegetazione tipica</th><th>Specie indicatrici considerate</th></tr>
<tr><td>Zona intertidale</td><td>Escursione di marea, elevata salinità e umidità</td><td>Zona afitoica, eventualmente presenti detriti organici, prevalentemente vegetali, di recente fluitazione</td><td rowspan="2">Cylindera trisignata
Calomera littoralis nemoralis
Dyschiriodes bacillus arbensis
Cafius xantholoma
Remus sericeus
Halacritus punctum
Phaleria bimaculata adriatica
Trachyscelis aphodioides</td></tr>
<tr><td>Arenile afitoico</td><td>Zona sabbiosa asciutta al di sopra del limite dell'alta marea. Temperature superficiali molto elevate durante le intense insolazioni estive</td><td>Zona afitoica, presenti detriti organici, prevalentemente vegetali, a diverso stadio di decomposizione. Sotto i detriti trovano riparo molti piccoli invertebrati. Presenti tronchi di diverso calibro</td></tr>
<tr><td>Preduna</td><td>Zona colonizzata dalla vegetazione pioniera, spesso con dune embrionali dal profilo superficiale instabile</td><td>Cakile maritima, Xanthium italicum, Eryngium maritimum, Elymus (=Agropyron) farctus</td><td rowspan="2">Scarabaeus semipunctatus
Isidus moreli
Macrosiagon tricuspidatum
Mecynotarsus serricornis
Ammobius rufus
Trachyscelis aphodioides
Xanthomus pallidus
Otiorhynchus ferrarii</td></tr>
<tr><td>Dune</td><td>Cordoni dunosi a partire dalla prima duna stabile</td><td>Ammophila arenaria</td></tr>
</table>

2. Schema rappresentativo dell'ecosistema composto da arenile e dune costiere con relativa zonazione di alcune associazioni vegetali e specie-guida animali.

rimasto immutato.
Il piano di monitoraggio si è basato su alcune specie di Coleotteri tipici dell'ecosistema di spiaggia con dune marine (tabella 1), selezionate tra quelle legate alle diverse fasce ecologiche che si succedono procedendo dalla linea di riva verso l'entroterra (figura 2).
Durante i primi anni di monitoraggio ciascuna stazione è stata visitata due volte al mese, da marzo a ottobre, a copertura del periodo di maggiore attività entomologica, mentre una singola osservazione è stata condotta nei mesi di febbraio e novembre, per rilevare sia le presenze precoci che quelle più tipicamente autunnali. Successivamente, a partire dal 2011, la frequenza mensile dei sopralluoghi è rimasta inalterata in maggio-giugno, mentre è stata ridotta ad un sopralluogo nei restanti mesi tra marzo e ottobre.
Il rilevamento degli insetti è stato effettuato investigando specificamente i microhabitat preferenziali delle specie di interesse. A tale scopo si è proceduto con tecniche di caccia a vista, mediante vagliatura della sabbia, sollevando a campione cumuli di detrito organico spiaggiato ed eventuali tronchi presenti nell'area di indagine.
La quantificazione delle presenze è stata effettuata secondo i seguenti criteri semi-quantitativi:

- Sporadico. Indicazione esatta degli individui osservati, fino ad un massimo di 4 unità;
- Presente. Corrispondente a 5-20 individui stimati, dato rappresentato con la lettera "P";
- Abbondante. Corrispondente a più di 20 individui stimati, dato rappresentato con la lettera "A".

Per alcune specie di particolare valore ecologico e limitata abbondanza si è ritenuto di registrare il numero esatto di esemplari osservati, ogni qualvolta possibile, al fine di offrire un quadro informativo più completo.
Per analizzare le differenze di condizione ecologica tra i settori A e B di ciascun sito (2007-2010) e tra i sottosettori A1, A2 e A3 dei siti CR e AL (2011-2014), è stato utilizzato l'Indice Entomologico di Conservazione Ambientale (IECA), sviluppato all'inizio del monitoraggio specificamente per questo scopo. Questo indice tiene conto non solo delle classi di abbondanza registrate per ciascuna specie, ma anche della loro sensibilità (S) alle modificazioni ambientali e del numero totale (N) di specie rilevate in ciascuna

Famiglia	Specie	Fedeltà ambientale	Capacità di dispersione	Sensibilità	Predatore	Valore finale S
Carabidae	*Cylindera trisignata trisignata*	3	0	2	1	**6**
Carabidae	*Calomera littoralis nemoralis*	1	0	1	1	**3**
Carabidae	*Dyschiriodes bacillus arbensis*	3	0	3	1	**7**
Carabidae	*Parallelomorphus laevigatus*	3	1	3	1	**8**
Histeridae	*Halacritus punctum*	3	0	2	1	**6**
Staphylinidae	*Cafius xantholoma*	1	0	1	1	**3**
Staphylinidae	*Remus sericeus*	3	0	2	1	**6**
Scarabaeidae	*Scarabaeus semipunctatus*	2	0	3	0	**5**
Elateridae	*Isidus moreli*	3	0	3	1	**7**
Ripophoridae	*Macrosiagon tricuspidatum*	2	0	2	1	**5**
Anthicidae	*Mecynotarsus serricornis*	2	0	1	0	**3**
Tenebrionidae	*Ammobius rufus*	3	1	1	0	**5**
Tenebrionidae	*Phaleria bimaculata adriatica*	3	1	1	0	**5**
Tenebrionidae	*Xanthomus pallidus*	3	1	2	0	**6**
Tenebrionidae	*Trachyscelis aphodioides*	3	0	1	0	**4**
Curculionidae	*Otiorhynchus ferrarii*	2	1	1	0	**4**

Tabella 2. Rappresentazione dei valori relativi ai singoli fattori di calcolo che contribuiscono alla definizione della variabile S (sensibilità alle alterazioni ambientali), impiegata nel calcolo dell'indice IECA.

area. La sensibilità, in particolare, si basa sui parametri riportati nella tabella 2 (tra parentesi l'ambito di variazione dei relativi valori):

- fedeltà ambientale (1-3), intesa come possibilità o meno di rilevare la specie anche in habitat diversi da quello considerato;
- capacità di dispersione (0-1), ovvero capacità di volo, da cui dipende la possibilità di ricolonizzazione a partire da siti limitrofi meglio conservati;
- sensibilità alle alterazioni ambientali (1-3), basato sui riscontri di campo circa gli effetti che le attività antropiche (asportazione delle alghe spiaggiate, frequentazione turistica, ecc.) producono sulla condizione di sopravvivenza di ciascuna specie;
- predatore (0-1). Per la posizione elevata nella catena alimentare, gli organismi predatori possono risentire di danni ambientali diretti al proprio micro-habitat, ma indirettamente anche dei fattori di disturbo che modificano l'abbondanza degli organismi che compongono ciascun anello della catena alimentare sottostante.

Per maggiori dettagli sull'indice IECA si rinvia alla descrizione riportata da Zanella *et al.* (2009), tenendo conto che, nell'utilizzo proposto in questo contributo, la massima densità di ciascuna specie è stata riferita all'intera area anziché alle singole fasce ecologiche (intertidale, arenile afitoico, preduna e dune).
I valori IECA ottenuti sono stati sottoposti a verifica della distribuzione normale mediante il test di Kolmogorov-Smirnov, dell'omogeneità delle varianze mediante il test di Bartlett, infine la significatività delle differenze tra i valori medi ottenuti nei diversi siti e nei diversi anni è stata analizzata mediante t-test oppure ANOVA con post-hoc test di Tukey. Tutte le analisi statistiche sono state eseguite utilizzando WinSTAT for Microsoft Excel v. 2007.1.

Risultati e discussione

Tutte le specie di interesse sono state rilevate ad eccezione di *Dyschiriodes bacillus arbensis*, un piccolo Carabide alobio, un tempo abbondate ma oggi localmente estinto (le specie rinvenute sono illustrate in calce al presente contributo). Oltre a questo, altre specie sono risultate poco presenti o limitate ad alcune stazioni di monitoraggio. I dati riferibili a ciascuna specie vengono di seguito sintetizzati e commentati, cercando quando possibile di evidenziare le criticità che potrebbero avere influito sullo stato del popolamento. A motivo delle variazioni metodologiche introdotte dal 2011, che hanno interessato il

calendario annuale dei sopralluoghi e introdotto un importante ridimensionamento delle aree di studio di CR e AL, i dati raccolti non risultano del tutto comparabili nel corso degli otto anni di monitoraggio. I ridimensionamenti di frequenza e areale si sono necessariamente ripercossi sulle probabilità di osservazione delle specie, cosicché specie molto rappresentate sono risultate meno abbondanti mentre specie molto sporadiche, benché presumibilmente ancora presenti, sono talora risultate assenti. Questa riduzione di abbondanza coincidente con le variazioni metodologiche non è quindi da interpretare come una perdita di consistenza dei popolamenti. Per sottolineare questo aspetto, comunque, nelle tabelle riepilogative i dati relativi agli anni 2011-2014 sono stati evidenziati da un riquadro, così da richiamare l'attenzione sulla diversità tra i dati raccolti nei due periodi 2007-2010 e 2011-2014.
Per quanto si riferisce invece al sito PS, che ha subito una riduzione nel numero di sopralluoghi ma non un ridimensionamento dei settori (A e B) di campionamento, i dati 2011-2014 risultano comparabili con quelli degli anni precedenti nei limiti delle corrispondenze stagionali e di frequenza.

Cylindera trisignata trisignata (Dejean in Latreille & Dejean, 1822)

Questo Carabidae è un predatore psammo-alobio ed eliofilo che durante il giorno può venire osservato in grande attività lungo la fascia intertidale e la parte più prossima dell'arenile afitoico. Abile corridore e volatore, sviluppa popolazioni molto abbondanti negli ambienti ben conservati, ma risente facilmente delle alterazioni ambientali, come attesta la sua completa scomparsa dagli arenili italiani soggetti a intenso sfruttamento balneare (Audisio, 2002; Cassola, 2002; Ratti, 2001).
I dati (tabella 3) documentano la presenza di questa specie in tutte le stazioni indagate,

		feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		0	0	0	0	0	0	0	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	10	P	P	P	8	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	A	A	A	0	P	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	1	2	A	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	P	P	P	P		0		0		0		
	2012				0		0	P	P	P	P		0		0		0		
	2013				0		0	0	P	5	0		0		0		0		
	2014				0		P	P	P	3	P		0		0		0		
ALBERONI	2007		0	0	0	0	0	0	A	P	A	P	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	1	P	P	A	P	P	17	0	2	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	A	A	A	P	P	0	P	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	P	A	A	P	P	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	7	0	P	P	P		0		0		0		
	2012				0		P	P	P	P	1		0		0		0		
	2013				0		0	0	P	P	0		0		0		0		
	2014				0		P	P	P	P	0		0		0		0		
PUNTA SABBIONI	2007		0	0	0	0	0	A	A	A	P	3	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	A	A	P	A	A	1	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	A	A	A	A	25	1	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	A	A	A	A	A	1		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	A	A	A	A		0		0		0		
	2012				0		0	0	A	A	5		0		0		0		
	2013				0		0	0	A	A	2		0		0		0		
	2014				0		0	7	8	6	3		0		0		0		

Tabella 3. Abbondanza di *Cylindera trisignata trisignata* rilevati, per campagna, nel periodo 2007-2014.
I colori rappresentano diverse abbondanze:
giallo = sporadico;
arancio = presente;
rosso = abbondante.

con una fenologia compresa tra i mesi di maggio ed agosto, e valori di massima abbondanza concentrati tra la seconda metà di maggio e luglio, mesi in cui sono state osservate le copule.
Sebbene questa specie sia legata al piano intertidale e alla fascia bassa dell'arenile afitoico, sporadici esemplari sono stati talvolta osservati nella preduna e tra le dune. Tale comportamento appare comunque incostante e non è stato registrato durante tutto il periodo di monitoraggio. I risultati ottenuti indicano che la popolazione si è ben conservata, ma a Punta Sabbioni, che fino al 2011 ospitava la popolazione più consistente, si è osservato, nell'ultimo anno, un'importante diminuzione di abbondanza.

Calomera littoralis nemoralis (Olivier, 1790)

Questo Carabide Cicindelino assomiglia molto a *Cylindera trisignata trisignata*, con cui condivide l'habitat preferenziale. Diurna, eliofila e psammofila, *C. littoralis* è spiccatamente alofila ma in grado di colonizzare anche habitat sabbiosi fluviali (Audisio, 2002; Magistretti, 1965), grazie anche all'attitudine al volo che le conferisce un'elevata capacità di dispersione.
Come la specie precedente, anche questo insetto risulta fortemente minacciato dalla progressiva scomparsa e profonda alterazione dell'habitat in cui tipicamente si rinviene (Contarini, 1992).
La sua presenza è stata confermata con popolazioni stabili in tutte le stazioni (tabella 4).
La fenologia risulta bimodale, con la comparsa tra marzo e maggio della popolazione svernante, che presto si estingue per lasciare posto ad una più abbondante nuova generazione estiva. Questa entra in attività tra la seconda metà di giugno e la prima di luglio, a seconda delle condizioni climatiche, sviluppando la massima abbondanza tra luglio e

		feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		0	5	A	P	0	0	0	2	A	A	A	A	10	P	2	0	0
	2008	0	0	0	11	P	1	0	0	1	A	A	A	A	P	12	2	1	0
	2009	0	0	0	6	P	0	1	0	0	0	P	P	A	1	0	0	0	0
	2010	0	2	0	3	P	0	0	0	0	0	P	A		P	0	0	0	0
	2011		0		P	A	3	0	0	0	10		7		7		0		
	2012				1		6	0	0	0	0		A		P		0		
	2013				6		0	0	0	P	P		P		A		0		
	2014				3		3	1	1	6	1		6		A		1		
ALBERONI	2007		0	0	A	12	0	1	0	2	P	A	A	A	A	P	2	0	0
	2008	0	0	0	P	A	0	0	1	0	P	A	A	P	P	5	3	2	0
	2009	0	0	0	10	P	0	0	1	2	0	A	P	A	0	0	0	0	0
	2010	0	0	1	1	P	1	0	0	0	0	0	2		2	7	0	0	0
	2011		0		A	A	0	0	0	0	9		P		P		0		
	2012				6		0	0	1	0	P		2		P		0		
	2013				0		0	0	0	2	P		4		P		1		
	2014				P		0	0	0	4	P		P		P		1		
PUNTA SABBIONI	2007		P	P	A	A	1	1	1	0	P	A	A	A	P	1	5	1	0
	2008	0	1	0	A	A	P	P	1	0	2	A	A	A	A	2	13	3	1
	2009	1	0	2	A	A	A	1	0	0	A	A	A	A	A	6	0	7	0
	2010	0	0	3	P	P	3	P	0	0	1	A	A		A	P	0	0	1
	2011		1		P	9	1	0	0	1	5		A		A		1		
	2012				A		A	0	0	0	A		A		4		0		
	2013				A		A	A	0	0	A		A		A		1		
	2014				A		1	0	0	3	14		A		A		0		

Tabella 4. Valori di abbondanza di *Calomera littoralis nemoralis* rilevati nel periodo 2007-2014.
Legenda dei colori:
giallo = sporadico;
arancio = presente;
rosso = abbondante.

agosto, a cui segue una progressiva scomparsa tra settembre e ottobre. Nonostante esistano dei periodi di compresenza, è evidente la complementarietà tra la fenologia di questa specie e quella di *C. trisignata*. Anche *C. littoralis* si concentra decisamente nell'intertidale e nella spiaggia asciutta immediatamente prossima, tuttavia questa zonazione risulta meno rigida di quanto osservato per *C. trisignata*. Essendo una specie che sopravvive all'inverno, sporadici esemplari sono stati regolarmente rilevati tra la preduna e le prime dune, sia a inizio primavera che a fine estate, in relazione agli spostamenti da e verso i siti di sverno. Alcune osservazioni sulle dune sono state riportate con una certa regolarità anche in luglio e agosto, nel pieno della stagione riproduttiva, documentando una certa inclinazione della specie ad allontanarsi temporaneamente dal suo habitat ottimale, grazie soprattutto alle buone capacità di volo a cui si è già fatto riferimento.

Dyschiriodes bacillus arbensis (G. Müller, 1911)

Questa specie alobia e psammofila non è mai stata rilevata nel corso del monitoraggio. Secondo Müller (1926), all'inizio del secolo scorso *D. bacillus arbensis* era già piuttosto raro lungo il litorale compreso tra la Dalmazia e il Friuli. Lo stesso autore lo segnalava a Lignano, tra le dune litoranee oggi completamente scomparse. Gridelli (1944), invece, verso la metà del '900 ne riportava la presenza molto abbondante presso il litorale di Alberoni e le bonifiche di Punta Sabbioni, individuando nelle sabbie umide del retrospiaggia l'ambiente preferenziale, da cui nelle ore calde di aprile si osservava uno spostamento a volo verso la sabbia umida della spiaggia. Proprio a quest'ultimo habitat si riferiscono le osservazioni di Giordani Soika (1950), secondo cui *D. bacillus arbensis* era ben presente sulla sponda umida di pozze d'infiltrazione presso la diga di Alberoni, localizzato in una ristretta fascia intermedia rispetto al gradiente di umidità del declivio sabbioso. La presenza in ambiente retrodunale, comunque, venne confermata anche da Meggiolaro (1958), che lo cita come componente frequente dell'associazione a Coleotteri rilevata nelle depressioni umide tra le dune più interne di Punta Sabbioni, in ambiente riconducibile allo *Schoenetum*.
Il pendolarismo di questa specie tra l'ambiente retrodunale e le sabbie umide della spiaggia supporta la tesi che la sua scomparsa possa essere riconducibile alle profonde modificazioni delle pozze retrodunali. Si tratta comunque di un'ipotesi non suffragata da dati, stante la difficoltà di individuare ambienti umidi retrodunali ben conservati su cui condurre ricerche mirate.
Ratti (1986) ne ipotizzava l'estinzione dal litorale veneziano già trent'anni fa, confermando tale convincimento più di recente (Ratti, 2001) e segnalando al tempo stesso il ritrovamento della specie nel delta del Po, a Sacca Scardovari (Porto Tolle, 1999, leg. L. Busato) ed a Porto Caleri (Rosolina, 2001, leg. M. Uliana).

Parallelomorphus laevigatus (Fabricius, 1792)

Questo Scaritino psammo-alobionte, predatore specializzato e adattato a cacciare gli anfipodi infossati nella sabbia umida (Giordani Soika, 1992), rappresenta certamente una delle specie faunistiche più interessanti e caratteristiche dell'ambiente studiato. È strettamente dipendente dall'habitat della spiaggia e particolarmente vulnerabile alle alterazioni ambientali, anche per la scarsa capacità di dispersione dovuta all'inabilità al volo. Questi tratti rendono *P. laevigatus* un bio-indicatore ideale degli impatti antropici sull'ecosistema indagato. In passato costituiva popolazioni molto consistenti nelle stazioni monitorate, come attesta Contarini (1838) che durante le sue attività di ricerca ne rinveniva centinaia in poco tempo.
Organismo ad attività notturna, almeno allo stadio adulto, trova sotto i detriti vegetali (soprattutto di *Zostera* o sotto legname spiaggiato) un ambiente di rifugio durante le ore

Sito	Anno	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		0	0	0	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	3	3	7	3	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	1	1	3	3	1	2	0	0	3	1	0	1	0	0	0
	2010	0	0	0	0	3	12	29	4	15	3	1	14		12	2	2	0	0
	2011		0		2	8	3	3	2	5	0		2		1		0		
	2012				7		2	4	4	4	8		0		3		2		
	2013				0		1	5	4	5	2		1		3		2		
	2014				2		2	8	3	1	0		4		2		2		
ALBERONI	2007		0	0	0	1	2	1	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	1	2	1	3	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0
	2009	0	0	0	1	2	2	1	1	3	3	0	0	1	0	0	1	0	0
	2010	0	0	0	0	15	32	16	10	6	14	2	23		0	8	2	0	0
	2011		0		0	12	4	12	7	8	13		0		2		0		
	2012				0		6	9	4	3	3		0		1		0		
	2013				5		3	0	6	7	0		8		4		1		
	2014				5		0	2	2	4	2		5		1		1		
PUNTA SABBIONI	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		

Tabella 5. Valori di abbondanza di *Parallelomorphus laevigatus* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

diurne. Nel corso delle indagini la specie è stata rilevata tra la parte più alta del piano intertidale e l'arenile afitoico, mentre la sua presenza nella fascia della vegetazione pioniera o delle dune, già segnalata da Müller (1926), è risultata eccezionale. I dati (tabella 5) mostrano che la specie è stata rilevata esclusivamente nei siti CR e AL, mentre risulta localmente estinta a PS.
Laddove ancora presente, *P. laevigatus* sviluppa popolamenti relativamente stabili, ma le abbondanze hanno superato solo eccezionalmente i 20 esemplari per singola campagna di osservazione, mentre l'andamento generale ha mostrato una notevole oscillazione interannuale, con i valori massimi decisamente concentrati nel 2010. Il periodo stagionale di attività è risultato estendersi con continuità da aprile ad ottobre, anche se nel corso dei primi anni di indagine i dati risultavano prevalentemente concentrati tra aprile e luglio, che probabilmente rappresentano il periodo più favorevole.

Halacritus punctum (Aubé, 1842)

Questo Isteride si caratterizza per essere uno dei più piccoli coleotteri italiani, superando di poco il mezzo millimetro (Audisio, 2002). *H. punctum*, psammo-alobionte, è legato tipicamente ai detriti organici depositati lungo la fascia intertidale ed immediatamente retrostante, dove si alimenta probabilmente a scapito di piccoli collemboli (Vienna, 1980). Come *P. laevigatus*, anche questa specie sembra strettamente legata ai detriti vegetali deposti dalla marea e si rinviene anche sotto tronchi di varie dimensioni.
I dati raccolti indicano la presenza di *H. punctum* solo a CR e AL, mentre manca a PS. Il periodo fenologico si estende dall'inizio della primavera fino all'inizio dell'autunno, con il maggior numero di reperti concentrato tra aprile e agosto. In generale si rileva una maggiore abbondanza di segnalazioni nel secondo quadriennio, nonostante la riduzione delle

	Anno	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		1	3	3	1	1	1	0	1	0	0	1	2	2	1	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	3	5	6	4	2	9	0	3	0	0	0	0	0
	2009	0	0	P	P	A	P	2	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	4	3	A	P	0	P	0	0	0	0	1		P	0	0	0	0
	2011		0		P	P	P	P	P	2	4		P		0		0		
	2012				5		A	A	P	P	A		A		A		3		
	2013				A		A	A	A	P	P		2		0		0		
	2014				A		P	A	P	2	P		0		1		0		
ALBERONI	2007		0	0	0	0	1	7	0	5	8	4	0	0	1	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	1	4	0	1	3	12	0	A	0	0	0	0	0
	2009	0	0	P	P	3	A	0	0	6	5	P	P	0	0	0	0	0	0
	2010	0	7	A	P	A	0	P	1	0	0	0	P		0	P	0	0	0
	2011		0		P	P	P	P	5	P	0		4		0		0		
	2012				P		P	P	P	P	P		0		P		P		
	2013				A		A	A	P	P	1		0		0		0		
	2014				A		A	A	P	P	5		0		0		0		
PUNTA SABBIONI	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		

Tabella 6. Valori di abbondanza di *Halacritus punctum* rilevati nel periodo 2007-2014.
Legenda dei colori:
giallo = sporadico;
arancio = presente;
rosso = abbondante.

aree di indagine che per molte altre specie si è invece tradotta in una fisiologica riduzione dei reperti. La biologia di questa specie resta ancora largamente sconosciuta, comunque l'assenza da PS è certamente riconducibile agli interventi di radicale pulizia dell'arenile con mezzi meccanizzati, che ha impattato su tutte le specie legate al microhabitat del detrito.

Cafius xantholoma (Gravenhorst, 1806)

Specie psammo-alobionte legata al detrito vegetale dell'arenile, ancora presente in tutte le stazioni indagate con popolamenti significativi. Audisio (2002) segnala che questa specie tende a persistere anche in condizioni di "marcata" antropizzazione. Stando ai dati di letteratura, *C. xantholoma* si nutre principalmente di larve e adulti di ditteri che frequentano il detrito organico spiaggiato e in decomposizione (Lott, 2003). Sebbene la cattura di ditteri adulti possa sembrare improbabile, questa osservazione è confermata anche da altri autori, almeno come riferimento all'intero genere *Cafius* (Hammond, 2000). James *et al.* (1971; citato in Hammond, 2000) riferiscono in particolare la predazione di larve e pupe del genere *Fucellia*, sebbene includano anche anfipodi e piccoli cirripedi nella dieta di questi Stafilinidi. Infine, Orth & Moore (1980) ritengono così rilevante l'attività predatoria esercitata dai *Cafius* sui ditteri legati al detrito degli arenili, da osservare che al diminuire di questi Coleotteri si assiste ad un sovrasviluppo dei ditteri stessi negli ambienti costieri nord-americani.
C. xantholoma è risultato essere la specie con più estesa curva fenologica, facendo rinvenire esemplari semi-attivi già in febbraio e, con continuità, in tutti i mesi seguenti fino a novembre, mese in cui è stato occasionalmente segnalato con presenze abbondanti (tabella 7: CR 2007 e 2009; AL 2009). Questi dati sembrano tratteggiare un insetto estremamente tollerante verso le escursioni termiche. Le segnalazioni si riferiscono prin-

Sito	Anno	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		22	10	A	14	0	0	0	0	1	0	P	P	0	0	3	0	A
	2008	0	16	A	A	A	4	0	0	P	P	P	P	P	2	P	P	P	P
	2009	4	A	A	A	A	A	P	P	3	P	A	0	A	P	P	P	2	A
	2010	10	P	A	A	P	2	0	0	1	P	P	P		A	1	P	A	0
	2011		P		A	1	5	A	1	P	P		3		2		2		
	2012				A		P	P	P	P	0		A		P		A		
	2013				7		P	P	A	P	A		0		0		0		
	2014				P		6	P	P	P	0		0		A		P		
ALBERONI	2007		15	1	A	P	0	0	0	0	0	1	P	14	P	0	2	0	0
	2008	1	19	A	A	A	0	0	2	0	A	A	A	A	P	P	P	A	P
	2009	7	5	P	P	P	P	2	A	A	A	A	P	P	0	P	4	4	A
	2010	P	A	P	A	A	6	3	P	1	A	P	P		P	A	0	A	1
	2011		P		A	A	2	A	2	A	A		2		4		0		
	2012				P		4	P	8	3	0		0		P		A		
	2013				P		P	P	P	P	0		A		2		3		
	2014				P		2	3	P	P	2		0		P		P		
PUNTA SABBIONI	2007		2	3	0	1	1	1	0	0	2	0	5	12	3	0	0	0	3
	2008	0	8	1	3	21	0	1	1	1	1	0	1	7	19	2	A	4	0
	2009	0	0	0	14	12	1	0	0	A	0	5	4	0	5	2	0	2	8
	2010	0	5	6	5	7	0	0	0	0	0	3	3		7	3	3	0	1
	2011		0		2	10	0	0	0	0	0		8		4		5		
	2012				7		4	3	0	8	0		4		12		15		
	2013				0		0	0	0	0	1		0		0		3		
	2014				7		3	0	0	0	0		0		0		4		

Tabella 7. Valori di abbondanza di *Cafius xantholoma* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

cipalmente all'arenile afitoico e intertidale, mentre reperti relativi alla fascia predunale risultano quantitativamente di secondaria importanza. I dati indicano la presenza di popolamenti consistenti e stabili presso CR e AL, assai meno abbondanti invece a PS dove, per di più, si evidenzia una drastica riduzione delle presenze nel corso dell'ultimo biennio.

Remus sericeus Holme, 1837

Questo Stafilinide psammo-alobionte è molto simile nell'aspetto alla specie precedentemente descritta, con cui condivide alcuni caratteri morfologici tipici. Alcuni autori, in effetti, non riconoscono la validità del genere *Remus* e includono le relative specie nel genere *Cafius* (ad esempio Orth & Moore, 1980). Nonostante queste somiglianze morfologiche e la condivisione del microhabitat preferenziale, *R. sericeus* si è dimostrato molto più sensibile alle alterazioni dell'ecosistema e, nei siti monitorati, è risultato presente in misura per lo più sporadica e discontinua.
Sebbene non sia stato possibile reperire in letteratura dati ecologici specificamente riferiti a *Remus sericeus*, sulla base delle osservazioni relative al genere *Cafius* riportate da Orth & Moore (1980) è da ritenere che questi insetti siano dediti prevalentemente alla predazione di larve di ditteri e collemboli, come indicato anche da un brevissimo commento riportato da Coiffait (1974: 334) con riferimento all'intero genere *Remus*.
La specie è stata rinvenuta in tutte le aree monitorate, tra marzo e settembre, secondo una zonazione che riflette quanto già riportato per *C. xantholoma*. Le segnalazioni si riferiscono per lo più a presenze sporadiche, sebbene non siano mancati valori di abbondanza P e, in due casi, anche di grado A. Anche in questo caso la popolazione di PS è nettamente meno consistente, risultando addirittura prossima ai limiti della rilevabilità: nell'ultimo quadriennio sono stati osservati soltanto due esemplari.

<table>
<tr><th></th><th></th><th>feb</th><th colspan="2">mar</th><th colspan="2">apr</th><th colspan="2">mag</th><th colspan="2">giu</th><th colspan="2">lug</th><th colspan="2">ago</th><th colspan="2">set</th><th colspan="2">ott</th><th>nov</th></tr>
<tr><td rowspan="8">CA' ROMAN</td><td>2007</td><td></td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2008</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>14</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>P</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2009</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td>0</td><td>1</td><td>A</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2010</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>P</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2011</td><td></td><td colspan="2">0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>P</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2012</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>P</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2013</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">11</td><td>A</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2014</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">2</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><th></th><th></th><th>feb</th><th colspan="2">mar</th><th colspan="2">apr</th><th colspan="2">mag</th><th colspan="2">giu</th><th colspan="2">lug</th><th colspan="2">ago</th><th colspan="2">set</th><th colspan="2">ott</th><th>nov</th></tr>
<tr><td rowspan="8">ALBERONI</td><td>2007</td><td></td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>6</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2008</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2009</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2010</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td><td>P</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td colspan="2">3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2011</td><td></td><td colspan="2">0</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2012</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">0</td><td>P</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2013</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">P</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2014</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">P</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><th></th><th></th><th>feb</th><th colspan="2">mar</th><th colspan="2">apr</th><th colspan="2">mag</th><th colspan="2">giu</th><th colspan="2">lug</th><th colspan="2">ago</th><th colspan="2">set</th><th colspan="2">ott</th><th>nov</th></tr>
<tr><td rowspan="8">PUNTA SABBIONI</td><td>2007</td><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2008</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2009</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2010</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2011</td><td></td><td colspan="2">0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2012</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2013</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
<tr><td>2014</td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">0</td><td></td></tr>
</table>

Tabella 8. Valori di abbondanza di *Remus sericeus* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

Scarabaeus semipunctatus Fabricius, 1792

È una specie macroterma e psammofila, di taglia robusta (15-24 mm), stenotopo e caratteristico di biotopi litorali e sublitorali marittimi (Bellucci *et al.*, 2008; Carpaneto *et al.*, 2007; Lobo *et al.*, 2001). Fino agli anni '60 questo caratteristico Scarabeide stercorario era molto comune lungo il litorale veneziano, dove è sempre stato strettamente legato all'ambiente delle dune. Negli ultimi 50 anni, tuttavia, la specie è divenuta sempre meno presente, rasentando la completa scomparsa. Carpaneto *et al.* (2007) hanno stabilito che nell'ultimo quarto del secolo scorso questa specie ha subito una significativa riduzione di presenza in tutto il territorio italiano. Tale situazione sembra trovare riscontro anche nella maggior parte delle coste mediterranee, come attesta la drastica riduzione delle presenze registrata nello stesso arco di tempo da Lobo *et al.* (2001) in un'area protetta della Camargue, la più estesa area di dune della costa mediterranea francese.
La correlazione tra la consistenza dei popolamenti di scarabeidi stercorari e la disponibilità o qualità di sterco resta in parte oggetto di discussione. Ponel (1993) ha ipotizzato che la disponibilità di sterco umano derivante dalla frequentazione turistica rappresentasse la principale fonte alimentare per questa specie. Ratti (1991) riferisce che presso le spiagge veneziane *S. semipunctatus* si nutre principalmente di sterco umano e di cane, in quanto rappresentano le principali disponibilità offerte dall'ambiente. Carpaneto *et al.* (2007) hanno attribuito all'abbandono della zootecnia estensiva ed alla conseguente riduzione della disponibilità di letame, una delle principali cause di rarefazione di scarabeidi stercorari in Italia.
La riduzione delle disponibilità trofiche rappresenta certamente un elemento di criticità, tuttavia nel caso di *S. semipunctatus* tale argomentazione sembra insufficiente a spiegarne la diffusa scomparsa. Lapiana e Sparacio (2008), ad esempio, analizzando alcuni

		feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
ALBERONI	2007		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
PUNTA SABBIONI	2007		0	1	1	0	5	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	4	1	0	0	1	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0
	2009	0	0	0	0	1	2	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	1	3	3	1	0	5	6	1	3		3	0	0	0	0
	2011		0		11	1	2	1	3	2	3		1		0		0		
	2012				2		0	1	4	1	2		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				1		0	0	0	0	0		1		0		0		

Tabella 9. Valori di abbondanza di *Scarabaeus semipunctatus* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

ambienti costieri siciliani, indicano nella riduzione di estensione degli habitat idonei una possibile causa del rapido declino degli Scarabeidi coprofaghi più sensibili, a dispetto della persistente disponibilità di letame bovino.
I dati raccolti nel corso delle attività di monitoraggio hanno confermato che questa specie tipica delle dune costiere corre gravi rischi di scomparsa nel litorale veneziano. Contrariamente a quanto osservato per molte delle specie precedenti, *S. semipunctatus* è risultato presente quasi esclusivamente nel sito di PS (tabella 9), sebbene risulti il più compromesso fra i tre considerati. Nei siti di CR e AL sono stati osservati complessivamente solo tre esemplari, l'ultimo dei quali nel 2009, mentre a PS le segnalazioni sono oscillate tra 8 e 26 esemplari per anno tra il 2007 e il 2012, anche qui però mancando quasi completamente nell'ultimo biennio.
Questo dunicolo specializzato è attivo da aprile a settembre, con il massimo delle segnalazioni tra aprile e luglio, mentre reperti isolati si rilevano eccezionalmente agli estremi della curva fenologica, in marzo e ottobre. Quasi tutte le segnalazioni si riferiscono alla zona della preduna o delle dune, anche se occasionalmente può sconfinare nell'arenile afitoico.

Isidus moreli Mulsant & Rye, 1874

Questa specie presenta costumi fossori e, allo stadio adulto, vive preferenzialmente nella fascia predunale tra le radici di *Cakile* (Giordani Soika, 1992). Nel periodo di maggio-giugno si porta in superficie verso il tramonto per compiere brevi voli e dare luogo agli accoppiamenti. Questa fase di attività "aerea" si limita a 2-3 ore, al termine delle quali l'animale torna ad affondarsi nella sabbia. La larva compie un ciclo di 3-4 anni nei tronchi spiaggiati e marcescenti, predando larve di coleotteri saproxilici, quali *Mesites pallidicornis* e *Cossonus linearis*, praticando occasionalmente anche il cannibalismo (Delnatte, 2010).

		feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2	1	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	1		0		0		0		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	2		0		0		0		
ALBERONI	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
PUNTA SABBIONI	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		

Tabella 10. Valori di abbondanza di *Isidus moreli* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

La ristretta fenologia dell'adulto, sia in termini di stagionalità che di ritmo circadiano, rende particolarmente difficile l'osservazione di questa specie, sebbene sia una delle più caratteristiche della preduna. Nonostante tali difficoltà, *I. moreli* è stato rinvenuto in tutti i siti di monitoraggio almeno con qualche sporadico esemplare (tabella 10). Sono stati repertati 21 esemplari adulti in luglio ed uno in agosto, di cui 16 esemplari a CR, 4 ad AL e 2 a PS.
La mancanza di segnalazioni, nella letteratura recente, ha presumibilmente indotto Ratti (2002) a includere *I. moreli* tra le specie a rischio di scomparsa, facendo risalire al 1964 le ultime osservazioni per l'area veneziana. In realtà questa specie, pur essendo legata ad un ambiente a rischio, probabilmente presenta popolamenti relativamente consistenti almeno a CR e AL, a dispetto delle sporadiche osservazioni riportate in Tabella 10, la cui scarsa consistenza è presumibilmente da imputare all'insufficiente efficacia delle tecniche di ricerca adottate. A riprova di queste affermazioni, merita di venire menzionato che nel 2006 uno degli autori (M. Uliana) ha effettuato a CR un campionamento notturno con lampada a luce UV, rilevando diverse decine di esemplari (tutti maschi) nell'arco di un paio d'ore. Inoltre, nel corso dei monitoraggi qui considerati, larve attribuibili a questa specie sono state ripetutamente osservate nella fascia predunale e fra le prime dune di CR e AL, dal tardo autunno alla primavera inoltrata, più frequentemente e in maggior numero all'interno di tronchi colonizzati dal curculionide alofilo *Mesites pallidipennis*, ma occasionalmente anche libere sotto tronchi o fra radici di *Ammophila*.
Queste osservazioni confortano l'assunzione che *I. moreli* mantenga una presenza significativa almeno a CR e AL, sebbene non documentabile quantitativamente, mentre a PS la situazione potrebbe essere radicalmente diversa. Qui, infatti, l'ambiente predunale risulta molto ridotto e disturbato, mentre i tronchi vengono sistematicamente rimossi dal sito, mancando così un microhabitat indispensabile per lo sviluppo larvale.

		feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
CA' ROMAN	2007		0 0	0 0	0 0	4 5	4 0	0 0	0 0	0 0	0
	2008	0	0 0	0 0	0 0	2 2	5 3	0 0	0 0	0 0	0
	2009	0	0 0	0 0	0 0	0 20	0 3	0 0	0 0	0 0	0
	2010	0	0 0	0 0	0 0	0 10	35 0	1	0 0	0 0	0
	2011		0	0 0	0 0	4 11	0	0	0	0	
	2012			0	0 0	0 0	0	0	0	0	
	2013			0	0 0	0 3	0	0	0	0	
	2014			0	0 0	0 0	0	0	0	0	
ALBERONI	2007		0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0
	2008	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0
	2009	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0
	2010	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0
	2011		0	0 0	0 0	0 0	0	0	0	0	
	2012			0	0 0	0 0	0	0	0	0	
	2013			0	0 0	0 0	0	0	0	0	
	2014			0	0 0	0 0	0	0	0	0	
PUNTA SABBIONI	2007		0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0
	2008	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0
	2009	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0
	2010	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0
	2011		0	0 0	0 0	0 0	0	0	0	0	
	2012			0	0 0	0 0	0	0	0	0	
	2013			0	0 0	0 0	0	0	0	0	
	2014			0	0 0	0 0	0	0	0	0	

Tabella 11. Valori di abbondanza di *Macrosiagon tricuspidatum* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

Macrosiagon tricuspidatum (Lepechin, 1774)

Questa specie presenta una distribuzione europeo-mediterranea e nella nostra regione è legata all'ambiente litorale per i tratti termofili e xerofili che ne caratterizzano l'ecologia. Compie il proprio ciclo di sviluppo come parassitoide di vari generi di Imenotteri Eumenidi e forse anche del genere *Megachile* (Ratti, 1999). Gli adulti vengono segnalati lungo la fascia predunale e dunale su infiorescenze di Labiate e Ombrellifere, soprattutto su *Eryngium maritimum* (Ratti, 1999). Secondo Ratti (2002) si tratta di un insetto a rischio di scomparsa.
Nel corso delle attività di monitoraggio *M. tricuspidatum* è stata rilevata solo a CR, quasi esclusivamente tra giugno e luglio, nella fascia predunale e dunale. Non vi sono ipotesi valide, allo stato attuale, per spiegare l'assenza di reperti presso AL e PS. Gli ultimi reperti noti per il Veneto prima del presente monitoraggio, si riferiscono al Lido di Venezia (1963), Punta Sabbioni (1952) e Lido di Jesolo (1954) (Ratti, 2002).
A seguito della riduzione delle aree di indagine (2011-2014), le segnalazioni di *M. tricuspidatum* sono mancate quasi completamente anche a CR, ma poiché l'osservazione di questa specie dipende molto dalla presenza di *Eryngium* in fiore al momento del sopralluogo e queste piante sono poco presenti nelle aree considerate, è verosimile che l'assenza di dati sia prevalentemente dovuta alla variazione delle aree di indagine.

Mecynotarsus serricornis (Panzer, 1796)

Anticide di piccole dimensioni (1,6-2,5 mm), psammobionte e alofilo, è un tipico abitante della preduna e delle dune, anche se è stato rinvenuto su rive sabbiose fluviali (Bucciarelli, 1977; 1980). Si tratta di una specie legata alle fasce vegetate, rilevata quasi

Sito	Anno	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		0	0	0	0	12	P	A	P	6	P	2	0	4	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	P	P	A	P	3	A	5	A	1	0	0	1	0
	2009	0	0	0	0	2	3	0	0	5	3	P	P	14	P	P	0	0	0
	2010	0	0	0	0	2	A	P	A	4	3	P	4	0	2	0	0	0	0
	2011		0		0	0	P	P	P	P	P		4		P		0		
	2012				5		0	P	P	P	P		P		2		0		
	2013				0		0	0	P	P	A		P		P		0		
	2014				0		P	P	P	P	P		2		P		0		
ALBERONI	2007		0	0	0	0	0	P	P	P	1	0	6	2	0	1	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	A	P	A	P	P	3	P	P	P	3	2	0	2
	2009	0	0	0	0	3	3	0	P	4	0	5	9	4	8	4	0	0	0
	2010	0	0	0	0	1	2	P	2	3	P	10	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	7	P	P	P	P		P		3		0		
	2012				P		P	P	P	P	3		2		2		0		
	2013				0		0	0	P	P	P		P		4		0		
	2014				1		P	3	0	P	2		0		P		0		
PUNTA SABBIONI	2007		0	0	1	0	14	P	P	P	15	A	16	12	2	0	3	4	0
	2008	0	0	0	0	7	A	A	7	2	9	A	7	A	8	3	6	9	0
	2009	0	0	1	4	6	15	0	2	0	6	2	4	4	1	2	2	0	0
	2010	0	0	0	7	8	20	22	12	3	3	4	4		4	5	0	0	0
	2011		0		3	4	0	4	4	9	19		11		7		0		
	2012				0		2	10	16	7	8		8		0		0		
	2013				0		1	2	1	0	0		15		6		0		
	2014				0		6	4	5	3	0		0		4		0		

Tabella 12. Valori di abbondanza di *Mecynotarsus serricornis* rilevati nel periodo 2007-2014.
Legenda dei colori:
giallo = sporadico;
arancio = presente;
rosso = abbondante.

esclusivamente alla base delle piante della preduna e delle prime dune, occasionalmente anche nella spiaggia alta sotto i detriti vegetali più prossimi alla preduna.
I dati pluriennali (tabella 12) mostrano che *M. serricornis* è presente in tutti i siti monitorati e la fenologia tipica si estende da maggio a settembre, anche se modeste presenze possono venire registrate ad aprile e ottobre compatibilmente con le condizioni meteoclimatiche del periodo considerato.

Ammobius rufus Lucas, 1849

Tenebrionide a distribuzione ponto-mediterranea (Fattorini, 2002), di piccole dimensioni (2,8-3,3 mm), macrotermo, psammobionte a costumi fossori. Si rinviene infossato tra le radici delle piante della preduna e soprattutto delle dune, con escursione della profondità in relazione alle condizioni di temperatura e umidità del terreno. Secondo Ponel (1993) è una specie adattata a trascorrere tutto il suo ciclo biologico al di sotto della superficie sabbiosa, ma studi condotti sul litorale toscano da Colombini *et al.* (1994) mediante trappole a caduta, attestano che *A. rufus* si sposta anche in superficie, seppure raramente. Dati relativi a campionamenti su ambienti dunali medio-adriatici (Contarini, 1992) e tirrenici (Carpaneto & Fattorini, 2001; Fattorini & Carpaneto, 2001) dimostrano che *A. rufus* può sviluppare popolazioni consistenti e risultare tra i principali componenti della associazione a coleotteri tipica delle dune, arrivando alla densità di 0,32-0,36 es./litro di sabbia tra le radici delle piante psammofile. Simili densità sono riportate anche da Comor *et al.* (2008) per le dune della Camargue (0,5 es./litro di sabbia).
Negli ambienti delle dune veneziane tuttavia questa specie risulta molto meno abbondante, forse a causa della condizione propria dell'area lagunare veneta, caratterizzata da

		feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		0	0	0	0	5	3	0	0	3	2	0	0	0	1	1	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	2	0	1	0	2		0		2		0		
	2012				3		0	1	1	1	0		2		P		P		
	2013				0		0	0	3	P	3		0		3		0		
	2014				0		0	1	2	2	7		0		3		2		
ALBERONI	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	1	1		0		0		0		
	2012				0		0	0	3	1	0		2		0		1		
	2013				0		0	0	0	4	1		0		4		0		
	2014				0		4	0	1	0	1		2		5		0		
PUNTA SABBIONI	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		0		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		

Tabella 13. Valori di abbondanza di *Ammobius rufus* rilevati nel periodo 2007-2014.
Legenda dei colori:
giallo = sporadico;
arancio = presente;
rosso = abbondante.

un'attenuazione del tipico habitat mediterraneo (Ratti, 1986). Bonometto & Canzoneri (1970) ne hanno riportato la presenza alla base di tamerice e ammofila, senza tuttavia indicare frequenza e abbondanza dei rinvenimenti.
Nel corso del monitoraggio la specie è stata segnalata esclusivamente nelle aree di CR e AL (tabella 13), con la maggior parte dei reperti concentrati nell'ultimo quadriennio a dispetto della riduzione delle aree e del numero di sopralluoghi. I valori di abbondanza non hanno mai superato il grado P.

Phaleria bimaculata adriatica Rey, 1891

È un organismo psammo-alobionte tipico dell'ambiente di spiaggia, dove si rinviene comunemente sotto il detrito organico vegetale, spesso infossato sotto pochi mm di sabbia. Studi svolti nel litorale tirrenico toscano indicano che *P. bimaculata* (nei siti studiati convivente con *P. provincialis*) occupa stabilmente una fascia prossima alla linea di marea, dove conduce attività notturna alimentandosi dei detriti organici deposti dai moti di marea (Colombini *et al.*, 1994; Aloia *et al.*, 1999). Da questa zona, tuttavia, subiscono spostamenti verso le dune in relazione ai cambiamenti stagionali. Prove condotte sia in laboratorio sia in condizioni seminaturali suggeriscono che nella fase di riposo, durante la quale gli animali tendono ad infossarsi, le *Phaleria* si spostano dalla fascia più prossima alla riva verso le dune in relazione all'umidità ed alla granulometria della sabbia.
L'inclusione nelle attività di monitoraggio di specie indicatrici come questa, caratterizzate da elevata fedeltà ecologica ma relativamente tolleranti alle modifiche dell'ambiente, è di notevole importanza. Queste specie, infatti, forniscono preziose informazioni su siti relativamente alterati o disturbati, dove le specie più sensibili e delicate sono ormai completamente scomparse.

Sito	Anno	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		42	14	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	3	3
	2008	0	16	13	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	P	P	P
	2009	0	1	A	P	A	A	A	1	A	5	A	8	A	P	P	P	5	0
	2010	0	0	0	A	P	P	P	P	A	P	A	A	A	A	0	5	3	0
	2011		3		P	A	A	P	A	A	P		A		A		3		
	2012				P		A	A	A	A	P		A		A		P		
	2013				A		A	A	A	A	A		P		P		2		
	2014				P		A	A	A	P	P		A		P		P		
ALBERONI	2007		14	6	A	A	A	A	11	P	A	A	A	A	A	A	P	5	5
	2008	0	19	P	A	A	P	P	P	P	A	A	A	A	A	P	P	P	P
	2009	0	0	P	P	P	A	P	A	A	A	A	P	A	P	A	P	2	0
	2010	0	0	4	A	P	1	A	A	P	P	A	0		P	P	P	P	2
	2011		5		P	A	A	P	A	P	A		A		A		1		
	2012				A		A	P	A	A	A		12		A		A		
	2013				A		A	1	A	A	A		P		A		7		
	2014				A		A	P	A	A	P		A		A		P		
PUNTA SABBIONI	2007		16	14	P	P	P	7	6	6	9	0	6	7	17	6	8	3	1
	2008	0	0	4	4	A	5	A	0	11	6	A	A	10	A	P	21	22	0
	2009	0	2	6	7	A	A	0	0	1	4	4	7	2	5	A	0	1	1
	2010	0	0	6	6	8	15	9	5	9	8	6	16		4	1	1	5	0
	2011		0		4	9	17	3	0	1	0		0		4		1		
	2012				15		22	A	5	6	8		3		1		11		
	2013				2		8	1	3	0	0		0		4		3		
	2014				2		0	0	0	0	0		0		3		4		

Tabella 14. Valori di abbondanza di *Phaleria bimaculata adriatica* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

P. bimaculata è stata rinvenuta in tutti i siti con popolazioni consistenti e attive da marzo a ottobre, con sporadiche presenze anche in novembre (tabella 14). La zona preferenziale è stata confermata nella fascia di arenile prossima alla linea dell'alta marea, ma con una distribuzione piuttosto ampia e correlata alla presenza di posature di detrito organico. A partire dalla fine dell'estate, molti individui si rinvengono infossati alla base delle piante della preduna e talora delle prime dune, ad indicare il progressivo movimento verso le fasce vegetate alla ricerca di siti idonei allo sverno.
Nonostante la tolleranza ecologica che caratterizza questo Tenebrionide, i dati di PS evidenziano una considerevole e progressiva diminuzione di abbondanza nell'ultimo quadriennio, specialmente nei mesi di intensa frequentazione turistica che coincidono con quelli di massima attività dell'insetto. Tale calo delle presenze è giustificato dalla totale rimozione dei detriti organici dalla spiaggia, effettuata con l'impiego di mezzi meccanizzati.

Xanthomus pallidus (Curtis, 1830)

Specie psammoalobionte, notturna, a distribuzione atlanto-mediterranea occidentale, è caratterizzata da una fenologia tipicamente autunnale. È considerata un indicatore di elevata qualità ambientale degli arenili con dune (Ferrer & Whitehead, 2002).
Si rinviene in autunno tra i detriti spiaggiati alla base della prima duna. Nel litorale toscano (Burano, GR) questa specie è stata rilevata in attività tra settembre e gennaio, con un netto picco di attività in novembre e singoli reperti tra marzo e maggio (Colombini *et al.*, 1994). Aloia *et al.* (1999) hanno precisato che nello stesso ambiente gli esemplari in fase di riposo venivano spesso rinvenuti sotto detriti spiaggiati e solo raramente alla base delle piante pioniere *Cakile maritima* e *Otanthus maritimus*.
In Veneto, Canzoneri (1966) indica la zona preferenziale della specie compresa tra la fa-

Sito	Anno	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
CA' ROMAN	2007		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3	8
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	1
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	17	13
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	7	5	9	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		11		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		13		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
ALBERONI	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2	4
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	3
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	14	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	11	0
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		11		
	2012				0		0	0	0	0	0		1		0		0		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		5		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		P		2		
PUNTA SABBIONI	2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	1	5
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	4
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	3	4	2
	2011		0		0	0	0	0	0	0	0		0		0		5		
	2012				0		0	0	0	0	0		0		0		2		
	2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
	2014				0		0	0	0	0	0		0		0		2		

Tabella 15. Valori di abbondanza di *Xanthomus pallidus* rilevati nel periodo 2007-2014.
Legenda dei colori:
giallo = sporadico;
arancio = presente;
rosso = abbondante.

scia interessata dai detriti di battigia e la base delle prime dune, tuttavia tanto la zonazione quanto la dieta preferenziale potrebbero variare in relazione alle condizioni ambientali locali. Bonometto e Canzoneri (1970) indicano nelle dune l'area preferenziale di *X. pallidus* nei siti mediterranei extraitaliani e atlantici. Gli stessi autori, inoltre, hanno osservato questa specie arrampicarsi sulle piante di *Ammophila*, comportamento che secondo Canzoneri (1959) si deve alla specifica dieta a base di semi. Secondo Caussanel (1970), *X. pallidus* si nutre principalmente di detrito organico, distinguendosi in questo dal congenere *X. pellucidus*, con cui talvolta convive, che invece si nutre principalmente di semi (Aloia *et al.*, 1999). Ferrer & Whitehead (2002), pur confermando per osservazione diretta l'attitudine di *Xanthomus* ad arrampicarsi sulle piante delle dune, ne interpretano la dieta come essenzialmente onnivora. Esemplari prelevati nelle aree monitorate e mantenuti in cattività si sono alimentati di legno morto e, in minor misura, di resti di spighe di *Ammophila*, delle quali tuttavia non venivano intaccati i semi (teste Uliana in Zanella *et al.*, 2009).
I dati fenologici raccolti nel corso del monitoraggio confermano la presenza della specie in tutti i siti indagati, tra i detriti della spiaggia alta ma soprattutto nella preduna e tra le prime dune. Le segnalazioni sono concentrate in ottobre e novembre, ma due esemplari sono stati rilevati anche in marzo e in agosto (tabella 15). Negli ultimi anni di monitoraggio le presenze sono risultate particolarmente scarse presso CR e PS, dove la specie è talora mancata completamente. In considerazione del breve periodo di attività e della mai elevata abbondanza, è plausibile che l'assenza di osservazioni sia imputabile ad insufficienti sopralluoghi nel periodo favorevole e, per CR, alla riduzione dell'area monitorata. Tuttavia, questo Tenebrionide è stato regolarmente rilevato a CR nel 2011-2012, mentre nel biennio seguente esso è mancato del tutto. È possibile, perciò, che la popolazione di CR sia entrata in una fase di ridotta abbondanza, forse riconducibile a normali variazioni interannuali di lungo periodo. Non sono stati rilevati fattori ambientali sfavo-

revoli che possano aver penalizzato questo particolare sito. Assenze complete di reperti, d'altronde, sono state registrate anche ad AL nel 2012 e a PS nel 2013, attestando come il rilevamento di questa specie autunnale mediante un unico sopralluogo possa dare adito a discontinuità nei dati.

Trachyscelis aphodioides Latreille, 1809

È un Tenebrionide psammo-alobionte di abitudini fossorie, dotato di ali funzionali, dall'aspetto simile ad un piccolo Scarabeide. È stato inserito nella lista delle specie da monitorare solo a partire dal 2009.
Secondo Ponel (1993), questa specie condivide rigorosamente l'ambiente frequentato da *Ammobius rufus*, interpretazione che non trova riscontro nei siti monitorati, dove è invece risultata legata alle sabbie litorali dalla linea di battigia fino alle prime piante di ammofila, come anche riportato per la costa francese da Jaulin & Soldati (2005).
L'ecologia di *T. aphodioides* rimane in parte da chiarire, almeno per quanto riguarda la sua interpretazione come specie indicatrice. Jaulin & Soldati (2005) lo considerano sensibile sul piano ambientale e sovente sporadico, molto esigente quanto a grado di umidità e salinità della sabbia. Anche Carpaneto & Fattorini (2001) riportano modeste densità di questa specie indagando le dune della località ben conservata di Casteporziano (Lazio). Comor *et al.* (2008), ne rilevano la netta predominanza in alcuni siti alterati della costa mediterranea francese e lo considerano in grado di avvantaggiarsi opportunisticamente a scapito di altri elementi dunicoli più delicati. Gli stessi autori, comunque, ammettono che le ragioni dell'abnorme proliferazione di *T. aphodioides* in alcuni siti non sono chiare.
La letteratura si focalizza su ricerche condotte in ambiente di duna, mentre, secondo la nostra esperienza, l'habitat preferenziale si ripartisce tra le radici delle piante della preduna e i primi millimetri di sabbia sotto i detriti vegetali dell'arenile. Questa specie è certamente molto tollerante al disturbo antropico, come accade anche per *Phaleria*, ma resta un elemento caratteristico e strettamente legato all'ambiente di spiaggia con dune.
Nel corso del monitoraggio è stato rilevato in tutti i siti, seppure con presenze assai meno abbondanti a PS. La curva fenologica si estende con continuità da aprile a otto-

		feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
CA' ROMAN	2009	0	0 0	0 0	A A	A A	A A	A A	0 A	A A	0
	2010	0	3 A	P A	A A	A A	A A	A	A P	P P	0
	2011		0	A A	A P	A A	A	A	A	P	
	2012			A	A A	A A	A	A	A	A	
	2013			P	A A	A A	A	P	A	P	
	2014			P	A A	A A	A	A	A	P	
ALBERONI	2009	0	0 0	0 0	A A	A A	A A	A A	P A	A 3	0
	2010	0	P P	A A	A A	A P	A A	A	P P	P P	0
	2011		0	A A	A A	A P	P	P	A	P	
	2012			A	A A	A A	A	A	A	A	
	2013			A	A P	A A	A	A	A	P	
	2014			A	A A	A A	A	A	P	P	
PUNTA SABBIONI	2009	0	0 0	0 0	7 3	2 4	6 0	0 4	0 11	1 0	0
	2010	0	3 4	3 10	11 20	10 10	A A	8	3 5	6 0	0
	2011		0	1 22	4 7	9 5	9	5	4	12	
	2012			4	A 8	8 A	A	7	3	0	
	2013			3	4 5	1 1	1	3	6	8	
	2014			10	6 4	9 5	0	0	8	5	

Tabella 16. Valori di abbondanza di *Trachyscelis aphodioides* rilevati nel periodo 2009-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

bre, con possibile comparsa precoce in marzo. I dati di abbondanza si sono mantenuti elevati e stabili a CR e AL, mentre a PS è stato osservato un calo delle presenze negli ultimi anni, con particolare riferimento al biennio 2013-2014.

Otiorhynchus ferrarii Miller, 1863

È un Curculionide endemico delle coste sabbiose dell'Adriatico (Italia, Albania), notturno, tipico delle dune, dove durante il giorno vive infossato nella sabbia alla base delle piante, specialmente delle tamerici secondo Audisio (2002).
È risultato presente in tutte e tre le aree monitorate, con popolazioni stabili a CR e AL ma assai sporadico a PS, dove è mancato completamente nel corso del biennio 2013-2014. È stato rinvenuto infossato alla base delle piante della preduna e delle prime dune, soprattutto tra le radici di *Inula crithmoides* e *Cakile maritima*, sulle foglie della quale sono anche stati osservati adulti in alimentazione. Il periodo di attività inizia tra marzo e aprile, a seconda dell'andamento stagionale, per protrarsi fino a settembre-ottobre.
La scarsa presenza di questo Curculionide a PS non ha spiegazioni certe e potrebbe essere il risultato di una serie di concause. Questo sito presenta condizioni di disturbo antropico molto maggiori rispetto agli altri due e sia la morfologia che la vegetazione delle dune risultano assai più compromesse. La preduna, in particolare, è quasi assente, limitando così anche la tipica vegetazione pioniera di questa fascia. *O. ferrarii*, sebbene possa venire rinvenuto un po' in tutta l'area delle dune, trova condizioni particolarmente favorevoli nella preduna e tra le prime dune mobili, dove si rinviene preferenzialmente tra le radici di varie essenze. L'impedimento allo sviluppo di una naturale fascia predunale a PS, soprattutto dovuto agli interventi meccanizzati per la pulizia dell'arenile, potrebbe privare questa specie dei microhabitat più favorevoli, interferendo con l'insediamento di una popolazione più consistente.

CA' ROMAN

	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
2007		4	2	4	3	P	28	A	P	27	A	12	5	5	8	4	0	0
2008	0	0	0	10	5	8	P	P	P	P	P	1	A	0	P	2	5	0
2009	0	0	5	0	6	2	0	7	0	2	3	1	11	0	0	5	0	0
2010	0	0	1	3	0	P	P	P	4	0	0	3		10	0	0	1	0
2011		0		4	3	1	2	6	11	9		6		P		0		
2012				5		0	P	2	6	P		0		P		6		
2013				0		P	P	P	4	2		0		P		0		
2014				0		P	P	9	P	2		0		1		2		

ALBERONI

	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
2007		1	10	3	6	3	P	A	10	7	9	P	4	2	6	5	0	0
2008	0	0	0	12	1	6	7	P	P	A	2	P	P	0	P	4	0	3
2009	0	0	5	1	5	0	0	0	2	0	5	2	3	0	2	0	1	0
2010	0	0	2	2	5	P	P	3	0	3	0	2		0	9	6	1	0
2011		1		P	0	7	5	P	4	4		0		0		0		
2012				P		P	4	P	7	0		0		P		P		
2013				8		P	0	3	3	1		4		P		2		
2014				P		P	2	P	1	0		0		0		0		

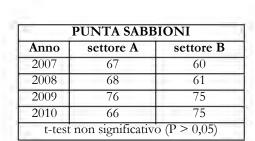
PUNTA SABBIONI

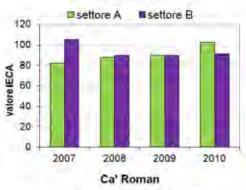
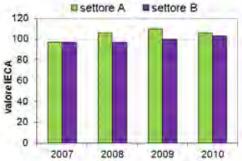
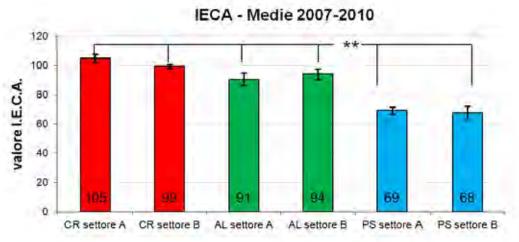
	feb	mar		apr		mag		giu		lug		ago		set		ott		nov
2007		0	1	2	1	1	1	0	0	0	3	0	2	1	0	1	0	0
2008	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	5	0	0	0	2	1	0	0
2010	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
2011		0		0	0	0	0	0	1	1		0		0		0		
2012				0		0	0	0	1	1		0		0		0		
2013				0		0	0	0	0	0		0		0		0		
2014				0		0	0	0	0	0		0		0		0		

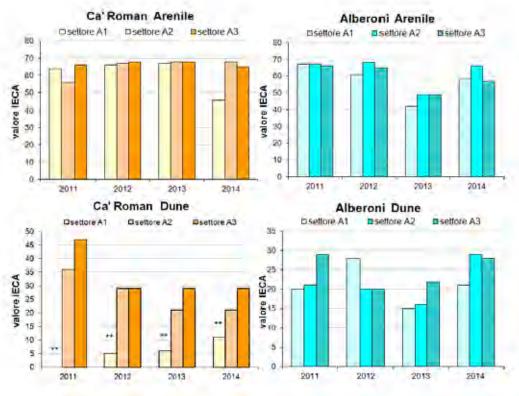
Tabella 17. Valori di abbondanza di *Otiorhynchus ferrarii* rilevati nel periodo 2007-2014.
Legenda dei colori:
giallo = sporadico;
arancio = presente;
rosso = abbondante.

Valutazione dell'impatto dei cantieri

I possibili impatti dei cantieri per le opere mobili alle bocche di porto sulla fauna a Coleotteri sono stati valutati mediante analisi statistica dei dati raccolti, trattando distintamente quelli del primo quadriennio (2007-2010) da quelli del secondo (2011-2014) a motivo delle importanti variazioni metodologiche che li differenziano.
Relativamente al primo quadriennio, i valori IECA ottenuti dai dati rilevati nei settori più prossimi ai cantieri (settori A) sono stati confrontati con quelli registrati nei settori più distanti (settori B), ottenendo i risultati rappresentati in figura 3. Il test-t ha confermato che in nessun sito le due serie di valori mostrano differenze statisticamente significative (P > 0,05).
Le serie annuali di valori IECA sono poi state analizzate comparando i sei settori delle tre aree come se fossero indipendenti, mediante test ANOVA con post-hoc test di Tukey, al fine di valutare se in questo insieme vi fossero differenze significative dell'indice di qualità ambientale (figura 4). I valori medi IECA dei settori di CR e AL sono compresi tra 91 e 105, mentre quelli dei settori di PS risultano nettamente inferiori e oscillano tra 68 e 69. L'analisi statistica ha confermato che i settori delle stazioni AL e CR costituiscono un gruppo statisticamente omogeneo, mentre i due settori di PS costituiscono un gruppo di qualità ambientale significativamente inferiore (P < 0,01).

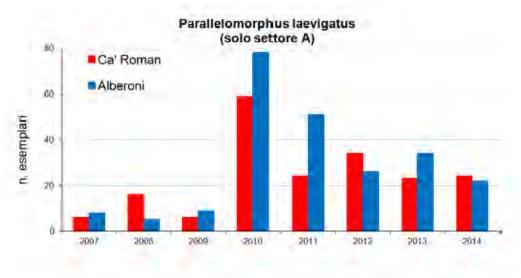
PUNTA SABBIONI		
Anno	**settore A**	**settore B**
2007	67	60
2008	68	61
2009	76	75
2010	66	75
t-test non significativo (P > 0,05)		

ALBERONI		
Anno	**settore A**	**settore B**
2007	82	105
2008	88	90
2009	90	90
2010	102	91
t-test non significativo (P > 0,05)		

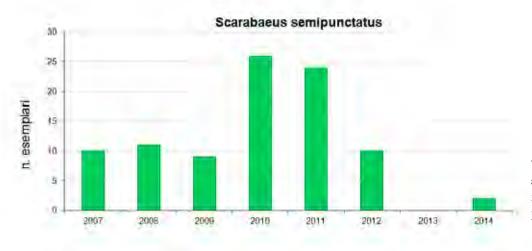
CA' ROMAN		
Anno	**settore A**	**settore B**
2007	97	97
2008	106	97
2009	110	100
2010	106	103
t-test non significativo (P > 0,05)		

3. Valori di IECA calcolati per ciascun settore dei tre siti di monitoraggio e relativa rappresentazione grafica. La significatività statistica delle differenze tra le serie annuali è stata valutata mediante t-test.

4. Valori medi di IECA (riportati alla base degli istogrammi) calcolati per ciascun settore dei tre siti di monitoraggio (CR, AL, PS) con indicazione dell'errore standard (barre verticali). Le barre orizzontali individuano i due gruppi di istogrammi statisticamente omogenei secondo il test ANOVA con *post hoc* test di Tukey (** = P < 0,01).

Questi risultati sono coerenti con l'ipotesi che i vari settori A dei siti monitorati non risentano in modo significativo della presenza dei cantieri rispetto ai settori B, o almeno non in misura tale da determinare una variazione rilevante del loro indice di qualità. Al tempo stesso, tuttavia, si rileva che l'indice di conservazione di PS risulta nettamente inferiore a quelli di CR e AL, come prevedibile sulla base delle importanti assenze di alcune specie tipiche (*P. laevigatus*, *H. punctum*, *M. tricuspidatus*, *A. rufus*) e alla scarsità di presenza di altre (*R. sericeus*, *O. ferrarii*).
Nel secondo quadriennio il monitoraggio di CR e AL si è concentrato nel settore A, in cui sono stati individuati i sottosettori A1-A3. I valori dell'indice IECA sono stati elaborati distintamente per le dune rispetto agli arenili, al fine di individuare con maggior precisione gli eventuali segnali di disturbo. I risultati sono rappresentati in figura 5, da cui si rileva che solo nelle dune del sottosettore A1 di CR si riscontra un calo importante dei valori di IECA, molto significativo anche in base al test statistico adottato (P < 0,01, ANOVA seguita da *post hoc* di Tukey). Questo impatto del cantiere di CR sulla zona prossimale delle dune trova riscontro anche nelle osservazioni di campo, che attestano lo

5. Valori IECA relativi agli arenili e alle dune di AL e CR, calcolati per i sottosettori A1 (prossimale ai cantieri), A2 (intermedio) e A3 (distale rispetto ai cantieri). Gli asterischi identificano il subsettore che risulta statisticamente differente rispetto agli altri applicando il test ANOVA con post hoc test di Tukey (** = P < 0,01).

sviluppo di vegetazione igrofila o euriecia su un'area di circa 50 m di larghezza, in sostituzione di quella xero-psammofila tipica delle dune. Tali circostanze hanno determinato la quasi completa assenza dei Coleotteri tipici in questa parte di sottosettore. Si tratta comunque di un impatto ben confinato alle immediate adiacenze del cantiere, che non trova riscontro già nel sottosettore A2, posto a 200 m dal cantiere stesso.
È da evidenziare che in queste aree è previsto uno specifico intervento di riqualificazione nell'ambito del "Piano delle misure di compensazione, conservazione e riqualificazione ambientale dei SIC IT3250003; IT3250023; IT3250031; IT3250030 e della ZPS IT3250046".

Specie particolarmente minacciate

I dati raccolti hanno confermato la presenza di quasi tutte le specie indicatrici monitorate, con la sola eccezione di *Dyschiriodes bacillus arbensis*, ma al tempo stesso hanno evidenziato la presenza di fattori di stress che talora ne condizionano la sopravvivenza in uno o più dei siti monitorati. Alcune specie meritano di venire segnalate in modo particolare, poiché sono risultate molto sensibili alle condizioni di conservazione di specifici microhabitat dell'ecosistema.
Tra queste va considerato, in primis, il carabide *Parallelomorphus laevigatus*, che nelle coste nord adriatiche è presente con popolazioni morfologicamente differenziate da quelle del restante bacino mediterraneo, tanto che in passato veniva distinto a livello sottospecifico con il nome *P. laevigatus telonensis* (Bonelli, 1813). Nonostante nei cataloghi tassonomici questa sottospecie venga attualmente considerata sinonimo di quella nominotipica (Vigna Taglianti, 1993), senza che peraltro sia noto alcuno studio a supporto di tale decisione, le popolazioni alto adriatiche rappresentano certamente un patrimonio genotipico particolare e unico, che merita di venire tutelato. Anche la forma tipica, comunque, è a rischio di scomparsa in tutto l'areale di distribuzione (Ratti, 2002). La sua eto-ecologia è stata approfonditamente studiata da ricercatori siciliani (Conti *et al.*, 2012), che ne hanno anche documentato la completa scomparsa in due delle quattro spiagge monitorate tra il 1997 e il 2010, mentre in una terza la presenza si è ridotta a pochi esemplari per anno. Le cause del declino sono state, a seconda del sito, il pesante inquinamento e la pulizia meccanizzata delle spiagge per lo sfruttamento turistico.
I dati qui presentati documentano le condizioni ambientali favorevoli dei siti AL e CR, rispettivamente adibiti ad oasi di protezione del WWF e della LIPU, che beneficiano di una gestione dell'arenile compatibile con la conservazione dei microhabitat essenziali. La presenza di *P. laevigatus* è risultata continuativa ma con importanti variazioni annuali di abbondanza, come si vede da figura 6, che per mantenere la comparabilità dei dati

6. Andamento del numero annuale di esemplari registrati nel settore A di AL e CR durante il periodo 2007-2014.

considera solo il settore A di CR e AL. Questi dati dimostrano l'importanza di condurre monitoraggi di lungo periodo, poiché l'acquisizione di valori di abbondanza per periodi limitati può falsare in modo drastico la significatività dei risultati ottenuti.
P. laevigatus è invece risultato completamente assente a PS, dove si verificano frequenti interventi di pulizia meccanizzata su tutto l'arenile, con rimozione completa del detrito vegetale e dei tronchi di ogni dimensione. L'eliminazione di questo fondamentale microhabitat si riflette non solo su questo Carabide, ma anche sulle altre specie ad esso legate, quali *H. punctum*, *R. sericeus* e *C. xantholoma*, che in varia misura hanno risentito di tale impatto.
Nell'ambiente di duna vi sono almeno due specie che meritano una particolare attenzione per il rischio di scomparsa a cui sono esposte: *Xanthomus pallidus* e *Scarabaeus semipunctatus*. Il primo è strettamente legato alle dune litorali con cui condivide il rischio di progressiva scomparsa. L'individuazione di zone dunali protette offre certamente discrete probabilità di sopravvivenza, ma è molto importante che in tali ambienti si provveda anche alla tutela della zona di transizione tra arenile e dune, poiché è la zona preferenziale di questa specie. *X. pallidus* si rinviene sovente non solo nella preduna ma anche sotto i detriti vegetali dell'arenile immediatamente antistante. Spesso i piani di salvaguardia prevedono la delimitazione delle dune con barriere volte a scoraggiare l'ingresso di visitatori, lasciando esposto però tutto l'arenile a profonde alterazioni derivanti dallo sfruttamento balneare. Poiché la preduna è un sottoambiente dinamico, che non persiste immutato nello spazio e nel tempo ma si sposta, tali barriere tendono a determinare il brusco passaggio da dune consolidate ad un arenile perfettamente ripulito e calpestato fino a ridosso delle stesse. L'habitat della preduna, di conseguenza, ne risulta fortemente penalizzato, con profondità limitata a 1-2 m o meno, come accade a PS.
X. pallidus è fortunatamente ancora presente in tutte e tre le stazioni monitorate, seppure con popolazioni mai abbondanti. La riduzione delle segnalazioni registrata negli ultimi anni di monitoraggio potrebbe essere interamente dovuta alla riduzione dei sopralluoghi nel periodo di attività di questo insetto, tuttavia è opportuno mantenere un elevato livello di attenzione su questa specie.
Un'analisi del tutto particolare va riservata a *Scarabaeus semipunctatus* che, come già evidenziato, risulta ormai rarefatto in tutto il bacino del Mediterraneo. I reperti eccezionali di AL e CR non sembrano sufficienti a sostenere che anche in questi siti sussista una popolazione vitale, mentre a PS le segnalazioni sono state regolari, sebbene ancora una volta caratterizzate da una brusca caduta delle abbondanze nell'ultimo biennio, con una totale assenza di segnalazioni nel 2013 (figura 7). La comprensione di quali siano i fattori che penalizzano così gravemente questa specie rappresenta una sfida scientifica non ancora risolta e un passo indispensabile per poter intraprendere iniziati-

7. Andamento del numero annuale di esemplari registrati a PS durante il periodo 2007-2014.

ve specificamente volte alla sua salvaguardia. Merita qui rilevare che il maggior numero di segnalazioni si è verificato nel 2010-2011, in coincidenza con i valori di massima abbondanza di *P. laevigatus*. Essendo queste due specie legate a comparti dell'ecosistema ben distinti, si potrebbe ipotizzare il verificarsi di condizioni ambientali generali particolarmente favorevoli in tale periodo, o in quello immediatamente precedente, come ad esempio condizioni di temperatura o piovosità idonee a garantire una maggiore sopravvivenza larvale o una maggiore disponibilità di alimento. In tutti i casi, le specie di grossa taglia, come questo coprofago, richiedono maggiori disponibilità trofiche per singolo individuo e questo si traduce in popolazioni con minore densità di individui per unità di superficie. Per conservare popolazioni di dimensioni sostenibili, pertanto, si dovrebbero garantire estensioni di habitat dunale adeguate in termini di superficie minima. Uno studio inteso ad approfondire questi aspetti della dinamica di popolazione di *S. semipunctatus* potrebbe quindi risultare molto utile.

Conclusioni

L'attività di monitoraggio ha permesso di documentare la presenza di una fauna entomologica ancora relativamente ben preservata, sebbene alcune specie indicatrici presentino distribuzione limitata a una o due stazioni, oppure evidenzino una notevole riduzione delle abbondanze rispetto a quelle attese sulla base di dati storici.
La presenza dei cantieri ha evidenziato un impatto significativo solo nell'area dunale di Ca' Roman, limitatamente ad un'area che si sviluppa per la larghezza di circa 50 m a partire dal confine degli stessi. Qui si è osservato un fenomeno di abbassamento del piano sabbioso con alterazione delle condizioni di umidità, accumulo di materiale lapideo grossolano, sviluppo di vegetazione opportunista (figura 8). Come conseguenza è stata osservata la scomparsa delle specie tipiche dell'ambiente di duna, tipicamente xero-termofile e psammofile. Nel complesso, comunque, si tratta di un problema ben circoscritto e di estensione molto limitata.
La maggior parte dei fattori di stress ambientale è evidentemente riconducibile alle attività antropiche finalizzate al turismo balneare. L'area maggiormente penalizzata è risultata essere quella di Punta Sabbioni, come evidenziato dall'analisi pluriennale dell'indice IECA (figura 4), che risente evidentemente di una approfondita e frequente pulizia meccanizzata dell'arenile. L'asportazione di tutto il detrito vegetale leggero e pesante

8. Vegetazione opportunista presente nelle adiacenze del cantiere di Ca' Roman nel 2011, dominata da *Amorpha fruticosa*, pianta di origine nord-americana (foto M. Uliana).

ha già determinato la scomparsa delle specie di arenile più sensibili (*P. laevigatus*, *H. punctum*), ma anche quelle meno delicate (*C. xantholoma*, *P. bimaculata*, *T. aphodioides*) hanno evidenziato negli anni più recenti una diminuzione di abbondanza così evidente da rendere plausibile la loro estinzione locale a breve. La penalizzazione della fauna di arenile è la principale causa di abbassamento dei valori IECA di Punta Sabbioni.
I benefici derivanti dai criteri di gestione adottati a Ca' Roman e Alberoni, finalizzati a principi di tutela ambientale, sono risultati evidenti. A questo proposito, alla luce sia delle osservazioni di campo che della letteratura recente, va richiamata anche l'attenzione sull'importanza di mantenere almeno alcuni tronchi marcescenti nella parte alta dell'arenile. *P. laevigatus* e *H. punctum* sono risultati spesso concentrarsi proprio sotto tronchi marcescenti, e secondo Delnatte (2010) questi sono addirittura indispensabili per il completamento del ciclo biologico di *I. moreli*, le cui larve sono predatori specializzati dell'entomofauna saproxilica. Secondo questo autore, l'abbondanza della popolazione di *I. moreli* è direttamente correlata alla presenza di tronchi marcescenti nella parte alta della spiaggia e nella preduna.
Rimangono aperte alcune questioni irrisolte, tra cui la scomparsa di *S. semipunctatus* dai due siti meglio conservati e la sua sopravvivenza in quello più disturbato, e la presenza di *M. tricuspidatum* limitata a Ca' Roman, nonostante lo stato di conservazione delle dune di Alberoni sembri altrettanto buono.
Per migliorare la gestione degli ambienti costieri e approfondire l'importanza dei diversi microhabitat nell'equilibrio dell'ecosistema, perciò, sono auspicabili specifiche ricerche focalizzate sulle specie entomologiche più minacciate.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare Enrico Ratti, già direttore del Museo di Storia Naturale di Venezia, che ha sostanzialmente contribuito alla progettazione del piano di monitoraggio e partecipato attivamente alla supervisione ed elaborazione dati del primo anno di attività. Infine, siamo grati ad Andrea Pierini (SELC soc. coop.), che con la competenza tecnica e creativa che lo contraddistingue ha preparato la figura 2 riportata nel presente articolo.

Cylindera trisignata trisignata in copula (foto M. Uliana).

Calomera littoralis nemoralis (foto F. Barbieri).

Parallelomorphus laevigatus mentre preda un Anfipode Talitride (foto M. Uliana).

Halacritus punctum (foto M. Uliana).

Cafius xantholoma (foto F. Barbieri).

Remus sericeus (foto F. Barbieri).

Scarabaeus semipunctatus mentre separa una porzione di sterco (foto F. Barbieri).

Isidus moreli (foto F. Barbieri).

Macrosiagon tricuspidatum (foto M. Uliana).

Mecynotarsus serricornis (foto F. Barbieri).

Ammobius rufus (foto L. Zanella).

Phaleria bimaculata adriatica (foto F. Barbieri).

Xanthomus pallidus (foto F. Barbieri).

Trachyscelis aphodioides (foto F. Barbieri).

Otiorhynchus ferrarii (foto F. Barbieri).